



## Carbon Critical Masterplanning tool – klimatpåverkan från samhällsplaneringsprojekt

*Carbon Critical Masterplanning tool*  
– *climate impact of masterplanning projects*

Elias Prokofiev



SLU, Sveriges lantbruksuniversitet  
Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap  
Institutionen för energi och teknik

Elias Prokofiev

Carbon Critical Masterplanning tool – klimatpåverkan från samhällsplaneringsprojekt  
Carbon Critical Masterplanning tool – climate impact of masterplanning projects

Handledare: Leif Lundin, Atkins Sverige AB  
Ämnesgranskare: Cecilia Sundberg, institutionen för energi och teknik, SLU  
Examinator: Åke Nordberg, institutionen för energi och teknik, SLU

EX0724, Examensarbete i energisystem 30 hp, Avancerad nivå, A2E, teknik  
Civilingenjörsprogrammet i energisystem 300 hp

Serienamn: Examensarbete (Institutionen för energi och teknik, SLU)  
ISSN 1654-9392  
2014:15

Uppsala 2014

Nyckelord: klimatpåverkan, LCA, livscykelanalys, energianvändning i byggnader, samhällsplanering, förnybar energi, emissionsfaktor

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Omslag: 3D-modell av framtida Campus Albano, Stockholm. Atkins / Elias Prokofiev



## Abstract

With the climate change issues growing in importance on the social agenda, the field of urban masterplanning is of no exception when it comes to minimizing the carbon footprint in a variety of projects. The aim of this thesis has been to prepare the *Carbon Critical Masterplanning tool*, a software plugin for carbon dioxide emissions assessment developed by Atkins, to be used in Swedish conditions. The main targets were to improve the areas of the tool associated with energy conversion and renewable energy sources, and to test the tool in a real case.

A planned construction of a new campus in Albano, Stockholm was chosen for the pilot study. A 3D model was built in the tool and the carbon footprint was calculated for a variety of combinations for energy supply to the future area. The results show that use of locally installed renewable energy sources can reduce the total climate impact when life cycle perspective is applied. Largest reduction of emissions on an annual basis can be achieved by heat production from solar collectors and neighbourhood-scale biofuel plants.

*Masterplanning tool* can be considered as a useful assistant during a masterplanning process, from creation of early sketches to detailed development plans. Depending on the project specifications, a certain degree of adjustment will however be needed in order to receive meaningful results. Development of the two large areas of the tool – emissions related to traffic and waste management, which are not covered by this thesis, are to be completed in order to obtain an overall view of the climate impact of masterplanning.

## Executive summary

Efterfrågan på ett ämnesövergripande, flexibelt och användarvänligt verktyg för bedömning av klimatpåverkan i samhällsplaneringens olika skeden har traditionellt varit stor. Programmet *Masterplanning tool* som utvecklats inom Atkins *Carbon Critical Design*-konceptet möter dessa krav och har i detta examensarbete anpassats till att kunna användas i skarpa projekt i svenska förhållanden.

Det nya universitetsområdet Albano i Stockholm har använts för en pilotstudie, där klimatpåverkan från energiförsörjningen beräknats för olika kombinationer av energislag. Resultaten visar att installation av förnybara energikällor ger en betydande klimatbesparing då livscykelperspektivet tillämpas. Största mängden emissioner kan undvikas vid generering av värme lokalt med hjälp av solfångare och biobränsleeldade närvärmepannor.

Detta arbete har visat att *Masterplanning tool* är ett nyttigt redskap i planarbetet för ett område, från tidiga idéskisser till färdigställandet av detaljplanen. Verktöget bör utvecklas vidare och kompletteras med de delar som ännu inte implementerats. Växthusgasutsläpp kopplade till trafikmängder och avfallshantering är de två viktigaste i dagsläget.

## Sammanfattning

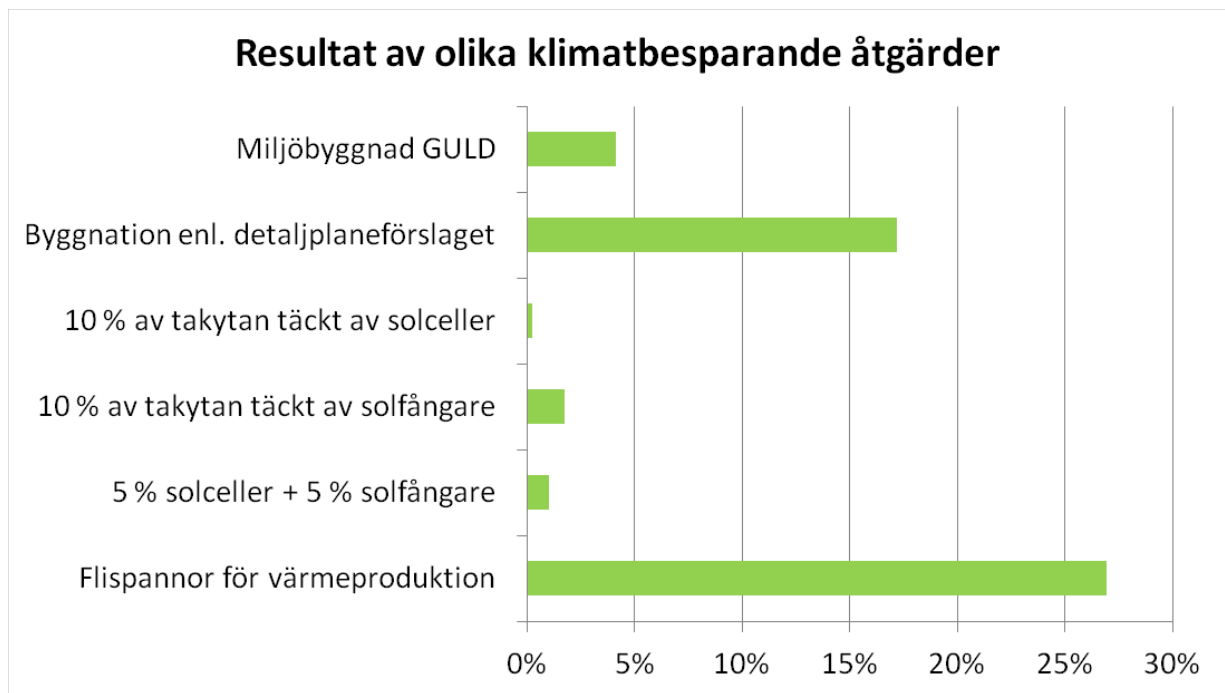
En omfattande urbanisering är ett fenomen som förekommer i hela världen, och Sverige är inget undantag. Storstadsregioner, med Stockholm i spetsen, växer sett till både storleken och befolkningsmängden. Detta leder till ett kraftigt behov av exempelvis nya storskaliga trafiklösningar, fler bostäder och hantering av avfall, och överallt krävs en insats av energi i någon form. Aktörer inom samhällsplanering står nu inför utmaningen att utforma nya kvarter, stadsdelar och hela städer ur ännu ett perspektiv – klimatpåverkan. Utsläpp av växthusgaser förekommer i alla faser av varje projekt, och en minskning av utsläppen är en högt prioriterad politisk fråga.

Detta projekt har utformats av Atkins Sverige med syftet att anpassa en uppsättning verktyg, *Atkins Carbon Critical Design tools* och speciellt *Masterplanning tool*, till att kunna användas för klimatpåverkansbedömning av samhällsplaneringsprojekt i Sverige. Speciellt fokus har legat på utveckling av de delar av verktygen som är förknippade med energiomvandling, både storskalig och lokal. Livscykelanalyser av installationer som solceller, solfångare, vindkraftverk, biobränslepannor och värmepumpar har använts i stor utsträckning för att göra verktygen flexibla för olika typer av framtida projekt.

Som pilotprojekt valdes ett pågående planarbete i Stockholm – byggnation av ett nytt universitetsområde i Albano, nordöst om de centrala delarna av staden. Enligt detaljplaneförslaget ska ett område på ca 15 ha bebyggas med undervisnings- och forskningslokaler samt bostäder för studenter och gästforskare. Med gröna terrasser i olika plan, tydliga öppna stråk och hög tillgänglighet för kollektivtrafik, fotgängare och cyklister, ska ett modernt hållbart campus skapas i området. Energihushållning, lokalt placerade förnybara energikällor och innovativa tekniska lösningar ska användas för att minimera miljö- och klimatpåverkan i såväl byggnads- som förvaltningsskedet.

Resultaten visar att växthusgasutsläppen till följd av behovet av energiförsörjning i Albano uppgår till strax över 2 000 ton koldioxidequivaler årligen, om området utformas enligt detaljplaneförslaget – med värmetillförsel i huvudsak via bergvärmepumpar och solfångare samt ett antal takplacerade solcellsanläggningar. Till detta ska klimatpåverkan från själva byggnationen, ökade mängden trafik till området och avfallshanteringen läggas till, något som inte undersökts inom ramarna för detta projekt.

Lokal förnybar produktion av el och värme ger i olika hög grad upphov till en minskning av områdets koldioxidavtryck. Biobränsleeldade närvärmepannor och solfångare kan minska den totala beräknade klimatpåverkan med uppemot 25 % när livscykelperspektivet för installationerna och insatta bränslen tillämpas. Anläggning av vindkraft i någorlunda stor skala bedöms inte vara möjlig i Albano, medan klimatbesparingen från solcellsgenererad el är liten i jämförelse. En uppgradering av den planerade miljöklassningen av byggnaderna från Miljöbyggnad SILVER till GULD skulle också kunna ge några procents minskning av växthusgasutsläppen.



**Klimatbesparing till följd av presenterade åtgärder i jämförelse med referensfallet (byggnader klassade enligt Miljöbyggnad SILVER, uppvärmning med fjärrvärme och inga lokalt placerade förnybara energikällor).**

Den största enskilda faktorn som påverkar resultaten är synsättet på klimatpåverkan från elanvändning. Eftersom el kan genereras med både förnybara och fossila källor, och de sistnämnda används vid hög efterfrågan, kan förändrad elanvändning i ett systemperspektiv antas innebära ökad insats av fossila bränslen i bränslemixen, med kraftigt ökade växthusgasutsläpp som följd. I detta projekt har s.k. nordisk medel, baserad på den genomsnittliga bränslemixen för elgenerering i Norden under ett år, använts i beräkningar.

Efter slutförandet av detta examensarbete kan *Masterplanning tool* börja användas i skarpa samhällsplaneringsprojekt i Sverige och Stockholm i första hand. Verktöget är dock inte fulländat, utan behöver en viss anpassning från uppdrag till uppdrag, beroende på beställarens krav, mängden tillgängliga indata osv. Ett antal förbättringar med avsikt att göra *Masterplanning tool* mer flexibelt och bättre anpassat till verkliga frågeställningar har därför föreslagits.



## Förord

Detta examensarbete har utgjort den avslutande delen på Civilingenjörsprogrammet i energisystem vid Uppsala universitet och SLU. Jag vill framför allt tacka Atkins i Nacka som gett mig möjligheten att genomföra projektet, ett arbete som varit intressant och lärorikt, och verkligen satt mina, än så länge färska, ingenjörsfärdigheter på prov.

Jag vill också tacka ett antal personer särskilt för deras insats i mitt arbete, liten som stor:

**Leif Lundin** (Atkins Sverige) för att ha gett mig handledning med ett inslag av nödvändig frihet som gjort att jag utvecklats på alla plan i mitt tankesätt och mitt skrivande, för alla förslag på möjliga och omöjliga infallsvinklar på arbetet och för många intressanta diskussioner genom dessa månader

**Young-A Kang** (Atkins Sverige) för att ha hjälpt mig med att inse värdet av målgruppsanpassat arbete och inte minst ett varmt välkomnande på kontoret från dag 1

**Cecilia Sundberg** (SLU, Institutionen för energi och teknik) för att ha ägnat sin tid till att granska mitt arbete och ge värdefulla synpunkter om tankesätten kring livscykelanalyser, förnybara energikällor och systemtänkande

**James Blackwood** (Faithful+Gould/Atkins UK) for reaching out a helping hand in the swamp of IT problems that were the reality of the project in the beginning

och slutligen,

Johan Olsve (Atkins Sverige) för sällskapet på lunch-, fika- och övriga raster, för att ha fått mig att känna mig som "en i gänget" och för alla otaliga gånger du höjt stämningen och fått en att dra på mungiporna.

Stort tack till er alla!

*Elias Prokofiev*

Uppsala, mars 2013

## Begrepp och förkortningar

<i>A<sub>temp</sub></i>	Arean av samtliga våningsplan, vindsplan och källarplan för temperaturreglerade utrymmen, avsedda att värmas till mer än 10 °C, som begränsas av klimatskärmens insida. Area som upptas av innerväggar, öppningar för trappa, schakt och dylikt, inräknas. Area för garage, inom byggnaden i bostadshus eller annan lokalbyggnad än garage, inräknas inte.
<i>BBR</i>	Boverkets byggregler
<i>BTA</i>	Bruttoarea, summan av utvändiga areor för samtliga våningsplan.
<i>CAD</i>	Computer-aided design, mjukvara för skapande och analys av tekniska ritningar
<i>CO<sub>2e</sub></i>	Koldioxidekvivalenter. Olika växthusgaser påverkar klimatet i olika hög grad. Koldioxid (CO <sub>2</sub> ) utgör referensen med klimatpåverkan = 1, medan övriga gaser kan räknas om till CO <sub>2e</sub> med hjälp av på bestämda faktorer.
<i>Ecoinvent</i>	Schweizisk databas för livscykelanalyser
<i>Effektivt värmevärde</i>	Effektivt värmevärde, H <sub>eff</sub> eller LHV (Lower Heating Value), är den mängd energi som en fullständig förbränning av bränslet kan ge upphov till, exklusive energi som kan nyttjas efter eventuell rökgaskondensering
<i>Embodied carbon</i>	Mängden CO <sub>2e</sub> per funktionell enhet (t.ex. kg eller m <sup>2</sup> ) som släppts ut till följd av tillverkning, transport, installation och avfallshantering av ett fysiskt objekt, exempelvis 1 m <sup>2</sup> solceller eller ett vindkraftverk. Utgör tillsammans med ”operational carbon” utsläppen från hela livscykeln för ett objekt.
<i>Energibärare</i>	Den formen som energi levereras på från omvandlingsanläggningen till användningspunkten. I detta projekt avses el och värme vara energibärare.
<i>GWP</i>	Global Warming Potential. Klimatpåverkan från respektive växthusgas omräknad i koldioxidekvivalenter (CO <sub>2e</sub> ), och med hänsyn tagen till gasens uppehållstid i atmosfären, t.ex. GWP <sub>100</sub> för 100 år.
<i>LCA</i>	Livscykelanalys. Bedömning av klimat- och miljöpåverkan från hela livscykeln av ett objekt, i vilken det normalt ingår tillverkning inkl. insatt energi, transport/distribution, drift och någon form av sluthantering efter uttjänad livslängd.
<i>Livscykelanalys</i>	se LCA
<i>Operational carbon</i>	Mängden CO <sub>2e</sub> per funktionell enhet (t.ex. kWh eller m <sup>2</sup> ) som släpps ut till följd av produktion av el och värme, vattenförsörjning, avfallshantering mm för en verksamhets behov.
<i>Peak-effekt (solceller)</i>	En solcell med den avgivna effekten 1 kW <sub>p</sub> , d.v.s. peak-effekten 1 kW, levererar denna effekt vid standardiserade mätförhållanden. I praktiken blir effekten lägre p.g.a. förluster, lägre solinstrålning osv.

## Figurförteckning

Figur 1. Visualisering i form av 3D-skiss (vänster) och BIM (höger). .....	24
Figur 2. Exempel på en byggnads utseende i CityCAD. ....	25
Figur 3. Flygfoto över Albanoområdet.....	27
Figur 4. Schematisk bild av energiflöden över systemgränsen för Albano enligt detaljplaneförslaget. 28	
Figur 5. Albanoområdet sett från öst. Överst: flygfoto över området. Nederst: modell skapad i CityCAD/ <i>Masterplanning tool</i> . ....	29
Figur 6. Nya Albano universitetsområde i CityCAD .....	30
Figur 7. Fördelning av markanvändningstyper i nya Albano. ....	31
Figur 8. Klimatnytta vid installation av solceller, solfångare samt kombinationer mellan dessa. ....	35
Figur 9. Jämförelse av klimatpåverkan för olika uppvärmningsalternativ i Albano .....	36
Figur 10. Klimatpåverkan för nybyggnation i Albano, en jämförelse mellan olika synsätt på el .....	41
Figur 11. Jämförelse av klimatpåverkan från elproduktion och värmeproduktion från förnybara energikällor.....	43
Figur 13. Känslighetsanalys för ett antal insatta parametrar i <i>Knowledge Base</i> .....	45
Figur 14. Schematisk bild av den föreslagna åtgärden. Emissionsfaktorn för värmeproduktion blir en parameter under kategorin ”Region” istället för ”Land”. ....	47
Figur 15. Schematisk bild av den föreslagna åtgärden. Solinstrålningsregion försvinner som parameter och ersätts av solinstrålningsdata för varje region för sig. ....	48
Figur 16. Schematisk bild av den föreslagna åtgärden. Utnyttjandegraden övergår från att vara parameter för en region till att bli en parameter hos värmepumpen.....	50
Figur 17. Schematisk bild av den föreslagna åtgärden. Biobränslet erhåller en emissionsfaktor, som tas med i beräkningen för den totala klimatbelastningen.....	51
Figur 18. Schematisk bild av den föreslagna åtgärden. Medelvindhastigheten tillsammans med ytråheten för regionen tillåter en beräkning av den levererade elektriska energin, om egenskaperna för vindkraftverket är kända.....	53
Figur 19. Exempel på effektkurva för en vindkraftsturbin.....	54
Figur 20. Förslaget tillägg i databasstrukturen för hantering av en byggnads kylbehov. ....	55

## Tabellförteckning

Tabell 1. Emissionsfaktorer [g CO <sub>2</sub> e/kWh el] för nordisk elmix för åren 2005-2010. ....	7
Tabell 2. Emissionsfaktorer [g CO <sub>2</sub> e/kWh levererad värme] för värmegenerering i Stockholms län. ...	8
Tabell 3. Global solinstrålning [kWh/m <sup>2</sup> ,år] för ett oskärmat tak i Stockholm.....	9
Tabell 4. Ytråhet, ekvivalent vindhastighet och beräknad utnyttjandegrad för turbiner placerade inom olika landskapstyper. ....	10
Tabell 5. Sammanställning av byggstandarder som skapas i Knowledge Base. ....	11
Tabell 6. Egenskaper för solcellssystem som lagts till i Knowledge Base.....	16
Tabell 7. Egenskaper för solfångartyperna som lagts till i <i>Knowledge Base</i> . ....	17
Tabell 8. Värmepumpstyperna och deras egenskaper, genomsnittsvärden från Energimyndighetens (2013) jämförelser av värmepumpar. ....	18
Tabell 9. Egenskaper för de värmepumpstyperna som skapats i <i>Knowledge Base</i> . ....	19
Tabell 10. Egenskaper för vindkraftverkstyperna som lagts till i <i>Knowledge Base</i> . ....	20
Tabell 11. Effektivt värmevärde ( $H_{eff}$ ) för bibränsletyper som lagts till i <i>Knowledge Base</i> . ....	21
Tabell 12. Egenskaper för bibränslepannor som lagts till i <i>Knowledge Base</i> . ....	22
Tabell 13. Klimatpåverkan från den föreslagna nybyggnationen i Albano.....	32
Tabell 14. Klimatbesparing till följd av miljöklassning av byggnader i Albano i jämförelse med referensalternativet. ....	33
Tabell 15. Sammanställning av klimatpåverkan från energisystemet i Albano enligt detaljplaneförslaget. ....	34
Tabell 16. Parameterkategorier i Knowledge Base och den bedömda graden av datasäkerhet vid framtagandet av värden på parametrar. ....	39
Tabell 17. Emissionsfaktorer för produktion och distribution av bibränslen. ....	52

# Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund .....	1
1.2	Problembeskrivning.....	1
1.3	Mål .....	2
1.4	Avgränsningar .....	2
1.5	Metod.....	3
2	Knowledge Base.....	5
2.1	Allmänt om databasen .....	5
2.2	Befintliga data i Knowledge Base .....	5
2.3	Datainsamling.....	5
2.4	Land och region.....	6
2.4.1	Emissionsfaktor för elproduktion .....	6
2.4.2	Emissionsfaktor för värmeproduktion .....	7
2.4.3	Solinstrålning.....	8
2.4.4	Vindförhållanden.....	9
2.4.5	Byggstandarder.....	10
2.4.6	Utnyttjandegrad för värmepumpar .....	12
2.5	Byggnadstyper och egenskaper .....	12
2.5.1	Energianvändning i byggnader .....	12
2.5.2	Elanvändning i bostäder .....	12
2.5.3	Koppling till byggstandarder.....	13
2.5.4	Tillämpningar av byggstandarder.....	14
2.6	Förnybara energikällor .....	14
2.6.1	Solcellssystem .....	15
2.6.2	Solfångarsystem .....	16
2.6.3	Värmepumpar .....	18
2.6.4	Vindkraft .....	20
2.6.5	Biobränslen och pannor.....	21
3	Carbon Critical Masterplanning tool.....	24
3.1	Om CityCAD.....	24
3.2	Atkins-pluginet Masterplanning tool.....	25
3.3	Albano som pilotprojekt i Sverige.....	26
3.4	Implementering i Masterplanning tool .....	28
4	Resultat.....	29

4.1	Albano i Masterplanning tool.....	29
4.2	Nya Albano.....	30
4.3	Klimatpåverkan .....	31
4.3.1	Referensalternativ.....	31
4.3.2	Alternativa verksamheter i nya bebyggelsen.....	32
4.3.3	Miljöcertifiering .....	32
4.4	Lokal produktion och klimatpåverkan.....	33
4.4.1	Energiförsörjning enligt detaljplaneförslaget .....	33
4.4.2	Solceller och solfångare på hustak .....	34
4.4.3	Värmetillförsel i biobränslepanna .....	35
5	Diskussion .....	37
5.1	Datasäkerhet .....	39
5.2	Känslighetsanalys .....	40
5.2.1	Synsätt på klimatpåverkan från elgenerering .....	40
5.2.2	Förnybar el- och värmeproduktion.....	42
5.2.3	Övriga parametrar.....	43
6	Utveckling av Knowledge Base-struktur.....	46
6.1	Emissionsfaktor för värmeproduktion.....	47
6.2	Solinstrålningsregion.....	48
6.3	Utnyttjandegrad för värmepumpar .....	49
6.4	Utsläppsfaktor för biobränslen .....	51
6.5	Vindkraftens elproduktion.....	53
6.6	Kylaproduktion.....	55
7	Förslag på vidare arbete.....	56
8	Slutsatser .....	57
	Referenslista .....	58
	Bilaga I.....	61
	Bilaga II.....	62
	Bilaga III .....	63

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Under flera år har det funnits en utmaning i att uppskatta klimatpåverkan i samband med de olika faserna av samhällsplanering och presentera resultaten på ett enkelt och lättöverskådligt sätt. Atkins<sup>1</sup> har utvecklat ett koncept, *Carbon Critical Design*, med målet att på ett tidigt stadium i planeringsprocessen kunna identifiera och kvantifiera utsläppen av växthusgaser förknippade med markanvändning, energianvändning, avfallshantering, transporter och byggnader. I *Carbon Critical Design*-verktygen tas hänsyn till emissioner vid såväl tillverkningsfasen som driftfasen av varje enskild komponent som ingår i ett samhällsplanerings- eller infrastrukturprojekt. Resultaten kan användas till att finna de bästa scenarierna ur klimatpåverkanssynpunkt eller tvärtom, ta fram de största klimatpåverkande posterna inom ett projekt. Fördelen med verktygen är det intuitiva gränssnittet, återanvändbara data mellan projekten och lättolkade resultat med fokus på visuell representation.

## 1.2 Problembeskrivning

*Knowledge Base* är online-baserad databas, utvecklad av Atkins och tillgänglig för användare av *Carbon Critical Design*. Databasen ligger till grund för beräkningarna av klimatpåverkan och innehåller regionsspecifika faktorer för växthusgasutsläpp i samband med exempelvis transporter, avfallshantering samt anläggning av byggnader, objekt inom infrastruktur och samhällsviktiga funktioner. Databasen är utvecklad i England, men har också använts i skarpa projekt i Indien och Kina, vilket medför att data för dessa länder och regioner finns tillgängliga. Skillnaderna mellan länderna när det gäller omfattningen på växthusgasutsläppen bedöms dock vara av betydande storlek. Därför behöver en ny uppsättning data skapas specifikt för svenska förhållanden, så att de erhållna resultaten kan förväntas spegla verkligheten.

Klimatdata, de gällande byggreglerna samt växthusgasutsläppen i samband med energiomvandling är exempel på faktorer som skiljer sig de olika regionerna emellan. De uppgifterna som inte anses kunna återanvändas från ett land till ett annat, eller som inte existerar, trots sin relevans för svenska förhållanden, måste därför samlas in och kvalitetssäkras.

CityCAD är ett samhällsplaneringsverktyg, utvecklat främst för användning i planeringens tidiga skede, vid utveckling av alternativ och scenarier för ett geografiskt område. Speciellt fokus ligger på de faktorer som berörs av stadsplaneringsprocessen, inkl. plats, skala, utbud och mix av markanvändning, byggnadstyper, infrastruktur, samt aktiviteter kopplade till dessa – särskilt resandet och energianvändningen. Ett tillägsprogram till CityCAD, *Masterplanning tool*, hanterar beräkningar av klimatpåverkan från de olika delarna av ett

---

<sup>1</sup> Atkins ([www.atkinsglobal.com](http://www.atkinsglobal.com)) är ett världsomspännande konsultbolag, verksamt inom ett brett spektrum av områden, - järnväg, väg- och vattenbyggnad, miljö, energi, transport etc. Dotterbolaget Atkins Sverige AB ([www.atkins.se](http://www.atkins.se)) är specialiserade inom bl.a. trafik- och transportplanering, stads- och samhällsplanering, järnvägar, gator & vägar, mark, VA, geoteknik, landskapsarkitektur och miljö samt projekt- och byggledning.

samhällsplaneringsprojekt. Programmet använder sig av *Knowledge Base* som underlag, och resultaten presenteras i form av den sammanlagda klimatpåverkansbedömningen för det undersökta området.

Atkins har varit delaktigt i skapandet av detaljplaneförslaget för det nya universitetsområdet Albano i Stockholm. En minimering av växthusgasutsläppen förknippade med såväl uppförandet som användningen av de nya byggnaderna ligger i linje med klimatstrategierna hos Stockholm stad, projektets byggherrar och de framtida hyresgästerna. Den klimatpåverkan som det nya området kommer att ge upphov till är därför intressant att beräkna och analysera. Beroende på resultaten kan den exakta utformningen av den föreslagna bebyggelsen komma att påverkas. Sammansättningen av energitillförande installationer och byggnadernas egenskaper är därmed intressanta att undersökas i syfte att få fram lösningen med bäst växthusgasbesparande potential.

### 1.3 Mål

Det övergripande målet för examensarbetet är att anpassa verktygen inom *Atkins Carbon Critical Design*-konceptet till att kunna användas i verkliga samhällsplaneringsprojekt i Sverige. I detta ingår flera delmål som ska uppnås:

- anpassning av den befintliga databasen (*Knowledge Base*) till svenska förhållanden
- implementering av det nya universitetsområdet Albano i samhällsplaneringsverktyget CityCAD enligt det befintliga detaljplaneförslaget
- kvantifiering av växthusgasutsläppen i samband med nybyggnationen med hjälp av *Masterplanning tool*, med utgångspunkt i den modifierade databasen, samt en jämförelse mellan olika lösningar för energiförsörjningen av området
- fördjupning inom energisystemområdet:
  - utveckling av energiförsörjningsdelen i *Knowledge Base*, med omfattande ökning av utbudet av energiinstallationer och deras egenskaper
  - modellering och simulering av ökad/ändrad användning av förnybara energikällor inom området, med redovisning av effekter på de totala CO<sub>2</sub>e-utsläppen.

Ytterligare ett mål som ska uppnås omfattar en ökning av verktygens användbarhet i ett bredare spektrum av projekt i Sverige. Även förslag på relevanta energi- och klimatrelaterade delar av databasen som saknas i den befintliga strukturen ska läggas fram.

### 1.4 Avgränsningar

Databasen *Knowledge Base* behandlar flera olika aspekter av samhällsplanering associerade med emission av växthusgaser. Tyngden i detta arbete ligger på energiförsörjning av byggnader samt de förnybara energikällorna. Utsläppen som genereras i samband med energiomvandling utgör basen för de slutliga resultaten för projektet.

Det finns dock flera sidor i ett samhällsplaneringsprojekt som ger upphov till växthusgasutsläpp och kan implementeras i *Knowledge Base*. En omfattande transportmodell som bygger på resbehovet till och från området kan läggas till. De utsläpp som uppkommer till följd av förbränning av fossila bränslen kan då utgöra en klimatbelastning för området.



Transporter har inte omfattats av detta projekt, utan lämnas som förslag till vidareutveckling av den svenska databasen, se kapitel 7.

Även avfallshantering är en del av *Knowledge Base*, med en möjlighet att ange mängden uppkommet avfall i området samt anläggningar som hanterar detta. Alla parametrar är kopplade till klimatberäkningarna för processer som exempelvis förbränning, återvinning, rötning och deponering. Avfallshanteringen läggs liksom transportmodellen utanför projektets gränser.

Vid sidan om utsläppen som genereras till följd av byggnadernas användning, där energiomvandlingen, resandet och avfallshanteringen ingår, finns också inverkan från parametern *embodied carbon* för själva byggnaderna. Denna representerar de emissioner som uppkommit vid själva byggandet, och anges per kvadratmeter uppbyggd golvarea. Exempelvis kan användning av material som stål och betong, vilka kräver stora energiinsatser i produktionsfasen, antas ge upphov till höga utsläpp av växthusgaser jämfört med olika träslag. Även om *embodied carbon* för byggnader är en viktig del i den totala beräkningen av klimatpåverkan, har den inte inkluderats i rapporten. Orsakerna är att ingen källhänvisning kunnat erhållas för motsvarande värden för andra regioner i den befintliga databasen, och att inga livscykelanalyser som behandlar en nödvändig bredd av byggnadstyper har funnits att tillgå. Klimatpåverkan som är kopplad till byggnader begränsas därmed till utsläppen från energianvändningen (*operational carbon*) samt *embodied carbon* för energiinstallationer, som exempelvis solceller, biobränslepannor osv.

*Knowledge Base* öppnar också en möjlighet att ange kostnader för de olika fysiska delarna av modellen som vägar och energiinstallationer. Ingen hänsyn har tagits till de ekonomiska parametrarna, varken för de enskilda anläggningarna eller vid framtagande av resultaten. Beräkningar och analyser har gjorts enbart utifrån förhållandet mellan energiomvandling och klimatpåverkan.

## 1.5 Metod

Detta projekt har i stora drag varit uppdelat i tre delar:

- skapande av en uppsättning av relevanta data för svenska förhållanden
- uppbyggnad av en 3D-modell av ett testområde i Stockholm
- analys av olika kombinationer för energiförsörjning ur klimatpåverkanssynpunkt

Den första delen har handlat om att samla in, tolka och anpassa data för inmatning i *Knowledge Base* och därmed skapa en grund för klimatpåverkansberäkningarna. Klimatdata, förväntad energianvändning i de skapade byggnadstyperna samt nyckeltal för prestanda hos ett antal energiinstallationer har implementerats. Emissionsfaktorer för el och värme, vilka kopplar energianvändningen till växthusgasutsläpp, har beräknats och lagts till. Livscykelanalyser har använts för att beräkna utsläppen från tillverkning, transport och montering av energiinstallationerna.

En tredimensionell modell av pilotområdet Albano i Stockholm har vidare byggts upp i programmet CityCAD utifrån ritningar tillhörande detaljplaneförslaget.

Slutligen användes ett plugin till CityCAD, *Masterplanning tool*, för att koppla ihop objekten i den skapade modellen med svenska värden på parametrarna i *Knowledge Base*. Olika kombinationer för energiförsörjning av Albano med såväl lokal som storskalig produktion har modellerats och analyserats utifrån de växthusgasutsläpp som dessa förväntas orsaka.

*Knowledge Base* och *Masterplanning tool* har också bedömts ur användbarhetsaspekten för svenska samhällsplaneringsprojekt, och modifieringar i verktygens struktur har föreslagits. Då projektet avgränsats till att endast omfatta en del av den totala bilden när det gäller klimatpåverkan från samhällsplanering, har förslag lämnats på vidare arbete.

## 2 Knowledge Base

### 2.1 Allmänt om databasen

*Knowledge Base* är en databas som utgör grunden till klimatpåverkansberäkningarna inom *Carbon Critical Design*-konceptet. Den innehåller regionspecifika värden på alla nödvändiga parametrar som samhällsplaneringsverktyget *Carbon Critical Masterplanning tool* använder i sina beräkningar. Gränssnittet är online-baserat och en uppdatering av databasen blir direkt tillgänglig för samtliga användare. Syftet med en sådan lösning är att parametervärden kan, helt eller delvis, återanvändas mellan projekten inom samma region, vilket innebär att en slutanvändare av *Masterplanning tool* inte behöver ha dessa lagrade lokalt eller validera dem på egen hand. På så sätt ökas användarvänligheten, och risken för misstag i beräkningar minimeras.

*Knowledge Base* täcker ett brett spektrum av områden, från klimatdata och byggnadstypologi till egenskaper för förnybara energikällor och installationer. Den bakomliggande strukturen är JAVA-baserad, med ett tillhörande interaktivt webbgränssnitt för databasanvändaren. Det finns inga möjligheter att göra ändringar i själva strukturen, men i kapitel 6 tas förslag på tänkbara ändringar upp, tillsammans med exempel och motiveringar.

I Bilaga I finns en sammanställning av samtliga parameterkategorier, både de som ligger inom och utanför ramarna för projektet, så som de framställs inom webbgränssnittet.

### 2.2 Befintliga data i Knowledge Base

I dagsläget finns det i *Knowledge Base* data för ett tiotal regioner i tre länder: Storbritannien, Indien och Kina. I dessa har det genomförts ett antal projekt, där databasen utnyttjats till olika grad. Då olika projekt kan utnyttja olika stora delar av databasen, varierar i regel mängden nödvändiga data för respektive region, beroende på projektets omfattning och även antalet tidigare projekt som gjorts där. Storbritanniens datauppsättning är den mest utvecklade och kompletta, och används därför som utgångspunkt när en motsvarighet skapas för Sverige och specifikt Stockholmsregionen. Den förväntas också, till skillnad från de övriga, vara relativt likartad den svenska.

I följande avsnitt presenteras de data som implementerats i den svenska databasen, med hänvisningar till källor och motiveringar av antaganden som gjorts. Där en jämförelse är relevant, ges motsvarande värden för regionen "Countrywide", som är uppbyggd utifrån förhållanden för Storbritannien i stort. Vissa delar av databasen är inte knutna till en specifik region eller ett land, utan gäller globalt, vilket också kommenteras.

### 2.3 Datainsamling

Det är av yttersta vikt för slutresultatet att implementera data som är understödda av vetenskapliga resonemang, officiell statistik och pålitliga källor. Tyngden vid skapandet av en svensk datauppsättning har lagts på att få fram korrekta data, snarare än att bygga en fullständig databas. Data presenteras uppdelade på kategorier, så som dessa framställs i *Knowledge Base*-gränssnittet, dock med en svensk benämning.

## 2.4 Land och region

I denna del anges värden på de grundläggande parametrarna för den svenska databasuppsättningen. Dessa, liksom övriga regionsspecifika värden, gäller för landet Sverige och regionen Stockholm. Beroende på vilka källor som finns att tillgå, används olika geografiska områden under benämningen Stockholm. Målet är att alla regionspecifika data ska gälla för Stockholms län, men vissa inskränkningar har gjorts, vilket kommenteras under respektive avsnitt. Att just Stockholm väljs som föremål för denna pilotstudie beror på Atkins närvaro i området och det utbredda kundunderlaget, samt att tillgängligheten på data och statistik bedöms vara som störst där.

### 2.4.1 Emissionsfaktor för elproduktion

Bedömning av klimatpåverkan från samtliga delar av ett samhällsplaneringsprojekt som förbrukar el sker via en s.k. emissionsfaktor. Beroende på bränslesammansättningen vid elgenerering, oavsett om detta sker i kärnkraftverk eller litet dieselaggregat, genereras på ett eller annat sätt utsläpp av koldioxid och andra växthusgaser. Dessa kan vara kopplade till framställning av själva bränslet (t.ex. utvinning av uran i gruvor eller destillering av olja), transport av bränslet, samt direkta utsläpp vid förbränning. Alla typer av elgenerering är förknippade med utsläpp av växthusgaser, även om storleken varierar. Generellt är förnybara former av elgenerering, såsom vattenkraft, vindkraft och solceller förknippade med låga emissioner, främst tack vare att resursen ("bränslet") inte kräver någon utvinning eller hantering. I den totala livscykeln ingår dock alltid utsläpp från förbränning av fossila bränslen, vid exempelvis uppbyggnad/tillverkning, transport av byggmaterial och demolering/avfallshantering, vilket gör att ingen energikälla kan räknas som helt klimatneutral. Förbränning av fossila bränslen genererar höga utsläpp av växthusgaser, till skillnad från biomassaeldning, där mängden koldioxid som frigörs kan antas kvittas mot motsvarande mängd som bundits in under växtstadiet.

Olika val av dragning av den geografiska systemgränsen medför att olika bränslemixar kan erhållas. Sveriges elmix består av nästan enbart kärnkraft och vattenkraft, med mindre andelar biobränslen (från kraftvärme) och vindkraft. Sedan 2000 ingår hela Norden i ett gemensamt elhandelssystem, Nordpool, som på senare år också blivit allt mer integrerat i Nord- och Centraleuropa (Nordpool, 2013). I och med att el lätt kan överföras mellan länderna, räcker det inte att endast använda Sveriges elmix som beräkningsunderlag. I denna rapport används bränslemixen för s.k. nordisk medelel<sup>2</sup>. Övriga synsätt på klimatpåverkan från elgenerering tas upp känslighetsanalysen, avsnitt 5.2.1.

Beroende på faktorer som fyllnadsgrad av vattenkraftmagasinen, kärnkraftens drifttillgänglighet, ekonomisk tillväxt samt årsmedeltemperatur, varierar den genomsnittliga bränslemixen och således också emissionsfaktorn från år till år, vilket följer av Tabell 1. Kärnkraft och vattenkraft används i Norden som baskraft, medan de fossila källorna oftast kopplas in vid hög efterfrågan på el, alternativt som reglerkraft. Den förstnämnda situationen

---

<sup>2</sup> Medelel är ett sätt att bedöma elmixen inom ett område under en lång period (t.ex. ett år). Marginal el är ett annat synsätt, användbart i situationer med förväntad förändring av elanvändningen. Då bestäms emissionerna av växthusgaser av det bränslet som används (eller inte används) för att generera den sista kWh el, den s.k. driftsmarginalen.

uppstår vid exempelvis långa perioder av kallt väder, industri som går på maximal effekt och låga vattenstånd. Fossila källor används då oftare för att tillgodose elbehovet, med ökad genomsnittlig emissionsfaktor som följd. Eftersom den genomsnittliga bränslesammansättningen varierar från år till år, kan det vara motiverat att använda ett genomsnitt för en längre period, i detta fall för åren 2005-2010, se Tabell 1. Faktorn som används i beräkningarna och sätts in i *Knowledge Base* är medelvärde för denna period, 104 g CO<sub>2</sub>e/kWh.

**Tabell 1.** Emissionsfaktorer [g CO<sub>2</sub>e/kWh el] för nordisk elmix för åren 2005-2010. Data för bränsleuppdelningen är hämtade från Svensk Energi (2011) och emissionsfaktorer från Fahlberg & Johansson (2009).

	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Andel förnybara bränslen i elmixen	63,3 %	56,1 %	60,9 %	64,5 %	62,4 %	59,9 %
Emissionsfaktor, förnybara bränslen <sup>1</sup>	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2
<b>Beräknad emissionsfaktor, förnybara bränslen</b>	<b>3,3</b>	<b>2,9</b>	<b>3,2</b>	<b>3,4</b>	<b>3,2</b>	<b>3,1</b>
Andel kärnkraft i elmixen	23,2 %	22,4 %	21,8 %	21,0 %	19,5 %	20,1 %
Emissionsfaktor kärnkraft	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1
<b>Beräknad emissionsfaktor kärnkraft</b>	<b>2,8</b>	<b>2,7</b>	<b>2,6</b>	<b>2,5</b>	<b>2,4</b>	<b>2,4</b>
Andel fossila bränslen i elmixen	13,5 %	21,5 %	17,3 %	14,5 %	18,1 %	20,0 %
Emissionsfaktor, fossila bränslen <sup>2</sup>	460	570	560	490	480	495
Emissionsfaktor, fossila bränslen (inkl. 10 % påslag för produktion/distribution)	506	627	616	539	528	545
<b>Beräknad emissionsfaktor, fossila bränslen</b>	<b>68</b>	<b>135</b>	<b>107</b>	<b>78</b>	<b>96</b>	<b>109</b>
<b>Beräknad total emissionsfaktor (nordisk elmix)</b>	<b>74,4</b>	<b>140,4</b>	<b>112,4</b>	<b>84,1</b>	<b>101,2</b>	<b>114,4</b>

<sup>1</sup> Emissionsfaktorn för förnybara bränslen sätts lika med vattenkraftens, vilken står för majoriteten av förnybar elproduktion i Sverige och Norden.

<sup>2</sup> Källa: Svensk Energi (2011). Emissionsfaktorn avser endast utsläpp vid förbränning, ett påslag på 10 % antas motsvara de emissionerna som uppstår vid produktion och distribution av bränslet (Gode et al., 2011)

Motsvarande värde för Storbritannien-regionen ”Countrywide” är 545 g CO<sub>2</sub>e/kWh, dvs. ca 5 gånger högre. Detta kan förklaras med att bränslemixen för elgenerering i Storbritannien till största delen (över 80 %) består av fossila källor – kol och naturgas (DECC, 2013a).

#### 2.4.2 Emissionsfaktor för värmeproduktion

De regionala skillnaderna i bränslesammansättningen är stora när det gäller generering av värme för användning i hus och lokaler. I ett mindre samhälle utan ett utbyggt gemensamt distributionsnät sker uppvärmningen med biobränsleeldade pannor, värmepumpar eller direktverkande el, samt kombinationer av dessa. Även oljeeldade pannor förekommer, men fasas alltmer ut som primär värmekälla. I städer med ett utbyggt fjärrvärmenät är normalsituationen att en övervägande majoritet av flerbostadshusen och lokalerna är anslutna (Energimyndigheten, 2012a).

I Stockholm finns flera väl utbyggda fjärrvärmenät som sträcker sig från nordväst (Märsta och Hässelby), via de centrala delarna av staden till Södertälje i sydväst och Tyresö i sydöst. Arbetet med att sammankoppla näten för ökad leveranssäkerhet och optimerad samkörning av

produktionsanläggningar pågår också. Totalt utgör den storskaliga fjärrvärmen ca 70 % av den totala värmeproduktionen i Stockholms län (SLL, 2008).

Enligt branschorganisationen Svensk Fjärrvärme (2011) genererar fjärrvärmen i Stockholm totalt 84 g CO<sub>2</sub>e per kWh leverad värme, varav 8 g CO<sub>2</sub>e/kWh uppkommer i samband med produktion och distribution av bränslen. Uppgifterna gäller utsläppen i Fortums produktionsanläggningar, men bränslemixen antas gälla i hela nätet, vilket är en godtagbar approximation, då övriga leverantörer tillsammans utgör en minoritet i jämförelse.

Resterande 30 % av den totala värmeproduktionen går inte att enkelt dela upp på energislag och tilldela lämpliga utsläppsfaktorer. Det förekommer exempelvis kombinationer av energislag där fossila källor utgör en del, men eftersom det statistiska underlaget endast redovisar en summa för hela länet per energibärare, blir en rättvis uppdelning omöjlig att genomföra. I hus och lokaler som värms med hjälp av värmepumpar, redovisas dessutom inte elen för det ändamålet separat i statistiken, utan slås ihop med hushållselen. Eftersom de flesta flerbostadshusen och lokalerna är fjärrvärmeanslutna, antas småhusens uppvärmningssätt vara representativt för resterande 30 %. Baserat på statistiken för hela landet och de uppvärmningssätten som gäller för småhus (Energimyndigheten, 2012a), antas hälften av denna rest värmas upp med direktverkande el (inkl. luftvärmepumpar) och hälften med pellets. En viss oljeeldning förekommer också, men står för en obetydlig påverkan, även trots sin höga utsläppsfaktor (ca 300 g CO<sub>2</sub>e/kWh).

Redovisningen av beräkningen av den genomsnittliga emissionsfaktorn för levererad värme i Stockholms län finns i Tabell 2. Faktorn som används i beräkningarna och sätts in i *Knowledge Base* är 78 g CO<sub>2</sub>e/kWh. Som jämförelse är värdet för Storbritannien (194 g CO<sub>2</sub>e/kWh) klart högre, vilket beror på att majoriteten av tillförd värme, likt el, genereras genom förbränning av fossila bränslen, främst naturgas (DECC, 2012).

**Tabell 2.** Emissionsfaktorer [g CO<sub>2</sub>e/kWh levererad värme] för värmegenerering i Stockholms län.

Energislag	Emissionsfaktor	Fördelning
Fjärrvärme	84	70 %
Rest: el (nordisk elmix enl. avsnitt 2.4.1)	104	15 %
Rest: pellets	21 <sup>1</sup>	15 %
<b>Beräknad genomsnittlig emissionsfaktor</b>	<b>78</b>	<b>100 %</b>

<sup>1</sup> Efter Gode et al. (2011), utsläpp från produktion och distribution av bränslet samt förbränning i villapanna

### 2.4.3 Solinstrålning

För att kunna beräkna mängden solenergi som kan omvandlas i solceller och solfångare, anges i *Knowledge Base* en uppsättning av data för solinstrålningen. De värden som sätts in representerar mängden global solinstrålning i kWh/m<sup>2</sup> för ett antal förbestämda riktningar och lutningar på planet.

Solinstrålningsdata hämtas från EU-kommissionens forskningsdepartement, Joint Research Centre (JRC), som agerar oberoende vetenskapligt stöd åt EU i dess skapande av lagar och riktlinjer. För att bedöma potential och prestanda från soldrivna anläggningar, används inom JRC en geografisk modell, PVGIS. Modellen bygger på mätningar av solinstrålningen, gjorda

t.ex. på meteorologiska stationer med hjälp av mätinstrument, samt visuella observationer av såväl antalet soltimmar som molntäcket. För användning i *Knowledge Base* används data för Stockholm som vald region, se Tabell 3. Motsvarande värden för Storbritannien i genomsnitt ligger i paritet med dessa, även om solinstrålningen i norr och söder kan skilja sig åt markant.

**Tabell 3.** Global solinstrålning [ $\text{kWh/m}^2\text{,år}$ ] för ett oskärmat tak i Stockholm. Värden för angivna riktningar och lutningar på takplanet/fästanoordningen. Data är hämtade från PVGIS (JRC, 2012).

	Horisontell	30°	45°	60°	Vertikal
S		1 120	1 130	1 090	838
SÖ/SV		1 060	1 060	1 020	785
Ö/V	938	911	875	812	607
NÖ/NV		730	642	559	384
N		652	517	413	265

Solinstrålningen är i *Knowledge Base* en parameter under kategorin ”Land”. För att kunna tilldela olika regioner inom ett och samma land olika värden på solinstrålningen, används en egen parameter, solinstrålningsregion, vars värde anges i procent. Solinstrålningen i referensregionen får värdet 100 %, medan övriga regioner erhåller en andel av denna strålning för alla riktningar och lutningar, i enlighet med den angivna procentsatsen. I den svenska datauppsättningen skapas endast en solstrålningsregion (Stockholm), för vilken solinstrålningen framgår av Tabell 3.

#### 2.4.4 Vindförhållanden

I *Knowledge Base* beräknas mängden levererad energi från ett vindkraftverk genom dess egenskaper (avsnitt 2.6.4) och utnyttjandegraden, som är en parameter kopplad till den valda regionen. Utnyttjandegraden definieras som kvoten mellan den faktiska producerade energin och den energin som skulle ha producerats om vindkraftverket arbetat med maximal effekt under samma tidsperiod. Små vindkraftverk placerade i mindre gynnsamma lägen resulterar generellt i låga värden, medan stora havsplacerade vindkraftverk kan nå upp till 30-50 % beroende på läge.

Utnyttjandefaktorn anges för tre typer av landskapsbilder: stad, förort och land. Varje byggnadstyp (avsnitt 2.5) erhåller ett värde som bäst speglar dess utseende. Exempelvis tilldelas höga flerbostadshus lämpligen landskapsbilden ”stad”, medan ett lantbruk med stor åkerareal kan vara av typen ”land”. Utnyttjandegraden avgör därmed hur mycket vindförhållandena försämrats utifrån utseendet på landskapet. Ett öppet landskap utgör få hinder för vinden och lämpar sig bättre för placering av vindkraftverk än en tätbebyggd stad med många höga byggnader.

För bestämning av vindförhållandena i Stockholm har den nationella vindkarteringen från 2007 (MIUU-modell,  $1 \text{ km}^2$  upplösning) använts. Årsmedelvinden på 49 m höjd över nollplansförskjutningen bestämdes till 5,8 m/s (Bergström, 2007). På grund av interaktionen med marken och på den placerade objekt uppstår en s.k. vindskjuvning, som medför att vindhastigheten minskar närmare mark. Ett förenklat logaritmiskt samband (Manwell,

McGowan & Rogers, 2009) användes för beräkning av vindhastigheten på 10 m höjd, vilken antogs vara den höjden som småskaliga vindkraftverk i bebyggelsen kan installeras på. Beroende på typen av landskapsbild, användes olika s.k. ytråhetskoefficienter i vindmodellen, och som resultat erhöles ekvivalenta vindhastigheter på 10 m höjd, se Tabell 4.

**Tabell 4.** Ytråhet, ekvivalent vindhastighet och beräknad utnyttjandegrad för turbiner placerade inom olika landskapstyper.

	Stad	Förort	Land
Ytråhet (m)	2,5	1,5	0,05
Ekvivalent vindhastighet på 10 m höjd (m/s)	3,7	3,9	4,6
<b>Beräknad utnyttjandegrad</b>	<b>10 %</b>	<b>11 %</b>	<b>19 %</b>

För bestämning av utnyttjandegraden i stadsmiljö användes data från Eales (2010). För vindkraftverk med medelgod placering erhöles i denna studie en utnyttjandegrad på ca 10 %, vilken användes för landskapsbilden ”stad” i den svenska databasuppsättningen. Utnyttjandegraderna för de återstående landskapstyperna beräknades relativt detta värde och det faktum att den genererade effekten i ett vindkraftverk är proportionell mot kuben av vindhastigheten. De erhållna värdena redovisas också i Tabell 4.

#### 2.4.5 Byggstandarder

För varje region tilldelas ett antal byggstandarder som antas gälla i bebyggelsen. Eftersom Stockholm används som standardregion för inmatning av data i *Knowledge Base*, antas alla byggstandarder, i enlighet med BBR 19 (2011), gälla för klimatzon III där Stockholms län ingår.

I Tabell 5 sammanställs byggstandarderna tillsammans med kraven på energiförbrukning som måste uppfyllas av byggnaden. Den standard som har lägst energiprestanda införs i *Knowledge Base* som ”Maximal energiförbrukning” och uppfyller precis BBR 19.

I en stor del av olika samhällsplaneringsprojekt ingår inte enbart nyproducerade byggnader, utan även befintliga. Dessa är byggda under olika tidsperioder, och uppfyller därmed äldre byggkrav än dagens. För att kunna representera dessa i en modell, skapas i *Knowledge Base* en egen byggstandard för dessa, ”Genomsnittlig energiförbrukning”. Data hämtas från Energimyndighetens årliga statistik för bostäder (2012b, 2012c) och lokaler som undersökts inom STIL2, projektet för kartläggning av energianvändningen i olika byggnadstyper i Sverige (Energimyndigheten 2007a, 2007b, 2008, 2009a, 2010 och 2011a). Övriga typer av lokaler skapas utifrån byggnadstyperna som omfattas av Energimyndighetens årliga statistik för lokaler (2012d). Statistik för universitetslokaler hämtas från mätningar gjorda av Akademiska Hus i Uppsala (Eneroth, 2013).

Under de senaste åren har flera miljöcertifieringssystem för byggnader tagit sig in på den svenska marknaden. Sweden Green Building Council (SGBC), som är en ideell organisation skapad av ett antal fastighetsbolag, byggföretag och miljöorganisationer, har som mål att utveckla miljöklassningarna och anpassa dem till de svenska förutsättningarna.



I dagsläget hanterar SGBC fyra olika miljöcertifieringssystem (SGBC, 2012):

- Miljöbyggnad – ett enkelt och kostnadseffektivt system som utgår från svenska byggregler och byggpraxis
- EU Green Building – riktat främst till företag och organisationer, med syfte att minska energianvändningen i lokaler
- BREEAM – världens mest använda system, utvecklat i Storbritannien, i dagsläget inte fullständigt anpassat för Sverige, men kan användas på vissa typer av byggnader
- LEED – utvecklat i USA och använt över hela världen, inte heller anpassat till svenska förhållanden

De första tre av miljöcertifieringssystemen nämnda ovan bedöms som intressanta för införande i *Knowledge Base*. För LEED-projekt i Sverige finns inga generella krav som ställs på byggnaderna, utan samtliga certifieringar måste ske individuellt. Därmed försvinner också möjligheten att på ett fullvärdigt sätt implementera LEED i databasen.

**Tabell 5.** Sammanställning av byggstandarder som skapas i *Knowledge Base*.

Byggstandard	Kommentar
<b>BBR 19 (Klimatzon III)</b>	
BBR 19 Bostäder	Kraven som ställs på nybyggda bostäder enligt BBR 19
BBR 19 Lokaler	Kraven som ställs på nybyggda lokaler enligt BBR 19
<b>Genomsnittlig energiförbrukning</b>	Enligt statistik för olika byggnadstyper (Energimyndigheten och andra källor)
<b>Miljöbyggnad (v2.1)<sup>1</sup></b>	
Miljöbyggnad SILVER	≤ 75 % av BBR:s krav
Miljöbyggnad GULD	≤ 65 % av BBR:s krav
<b>EU Green Building (v2)</b>	≤ 75 % av BBR:s krav, endast lokaler
<b>BREEAM Europe Commercial 2009<sup>2</sup></b>	Endast kontors-, handels- och industrilokaler
BREEAM EXCELLENT	≤ 85 % av BBR:s krav
BREEAM OUTSTANDING	≤ 63 % av BBR:s krav

<sup>1</sup> Miljöbyggnad inkluderar, förutom SILVER och GULD, även klassningssteget "BRONS" med samma energiprestandakrav som BBR 19. Detta steg tilldelas därför ingen separat byggstandard.

<sup>2</sup> BREEAM inkluderar även klassningsstegen "PASS", "GOOD" och "VERY GOOD" med samma energiprestandakrav som BBR 19. Dessa tilldelas därför inga separata byggstandarder.

En egen byggstandard skapas för varje graderingssteg inom de skapade klassningarna. Det ska dock förtydligas att kravet på energiprestanda inom de olika certifieringssystemen är ett av många krav. Det innebär att byggnaden endast kan få en certifiering om samtliga övriga ställda krav för en given graderingsnivå också är uppfyllda. I *Knowledge Base* finns i dagsläget inga andra parametrar, förutom energiprestanda, som är kopplade till klassificering enligt nämnda byggstandarder, varför en förenkling kan göras i detta fall. Alla miljöklassningssystem kan inte heller tillämpas på alla typer av byggnader, vilket redovisas i kommentarfältet i Tabell 5.

### 2.4.6 Utnyttjandegrad för värmepumpar

I *Knowledge Base* är parametern för värmepumparnas utnyttjandegrad kopplad till en region. Här ges ingen motivering av det inmatade värdet, utan läsaren hänvisas till avsnitt 2.6.3 för beräkningar och förklaringar.

## 2.5 Byggnadstyper och egenskaper

Detta avsnitt tar upp de olika byggnadstyper<sup>3</sup> som den största delen av databasen är förknippad med, samt deras egenskaper. Varje areaobjekt i en *Masterplanning tool*-modell tilldelas en byggnadstyp från urvalet i *Knowledge Base*, som därmed definierar vilken sorts verksamhet som arean representerar. Det är inte enbart för byggnader som sådana som det är möjligt att skapa en egenskapsuppsättning i *Knowledge Base*, utan även för exempelvis öppna ytor som fotbollsplaner, golfbanor, parker, åkermark osv. I Bilaga II finns de inmatade byggnadstyperna och deras egenskaper redovisade.

### 2.5.1 Energianvändning i byggnader

För varje byggnadstyp definieras i *Knowledge Base* energiprestanda genom ett värde på energiförbrukningen per kvadratmeter. Denna delas upp på den totala el- respektive värmeförbrukningen, dvs. per energibärare. På så sätt kan klimatpåverkan enkelt beräknas med hjälp på förhand tilldelade emissionsfaktorer (avsnitt 2.4.1 och 2.4.2). Det innebär att samtliga typer av byggnader, även elvärmda, kan hanteras i systemet.

Kopplingen till de gällande byggreglerna är emellertid inte lika enkel. I BBR återfinns begreppet ”byggnadens energianvändning”, vilken anges per  $m^2 A_{temp}$ , dvs. arean innanför klimatskärmens insida, som värms upp till mer än 10°C. I *Masterplanning tool* finns ingen sådan areabenämning, utan det är bruttoarean (BTA) som utgör byggnadens totala area. Värden på arearelaterade parametrar som matas in i *Knowledge Base* antas gälla per  $m^2$  BTA, vilket således ger upphov till ett fel om källan anger värdet per  $m^2 A_{temp}$ . Detta tas upp i känslighetsanalysen, avsnitt 5.2.3.

Samtliga värden på energiprestandaparametrarna för varje byggnadstyp presenteras i Bilaga II. De har normalårskorrigerats i de fall där det ansetts vara nödvändigt.

### 2.5.2 Elanvändning i bostäder

I nästan samtliga rapporter av Energimyndigheten gällande energianvändning i byggnader (avsnitt 2.4.5), ingår en kartläggning av elanvändningen. Dessa värden har implementerats i *Knowledge Base* i samtliga fall utom bostäder – småhus och flerbostadshus, för vilka data istället har hämtats från resultaten av elmätningar i ca 400 hushåll i Sverige (Zimmermann, 2009). Rapporten redovisar, förutom uppdelningen per hustyp, också en uppdelning per invånarkategori, dvs. ensamstående, familj med/utan barn osv. För flerbostadshus har ett värde beräknats enbart utifrån detta. För småhus finns det däremot även en uppdelning mellan elvärmda och värmda på andra sätt, varpå det har antagits en 50:50 uppdelning mellan de båda typerna. Ett värde på den genomsnittliga elförbrukningen har beräknats med hänsyn även till detta.

---

<sup>3</sup> Byggnadstyper benämns i *Knowledge Base* som ”Land Uses”, dvs. ”markanvändningstyper”

Ingen normalårskorrigerings för elförbrukningen har gjorts. Detta kan påverka resultaten för elvärmda hus om mätningarna utfördes under åren med temperaturer starkt avvikande från de normala. I så fall blir jämförelserna med normalårskorrigerade värden för övriga byggnadstyper inte helt rättvisa.

### 2.5.3 Koppling till byggstandarder

Byggnadstypernas energiprestanda definieras av parametrarna för värme- och elanvändningen för varje byggstandard som är relevant att tillämpas i respektive fall (se avsnitt 2.4.5). Som standard för samtliga byggnadstyper sätts ”Genomsnittlig energiförbrukning”, vilken baseras på Energimyndighetens statistiska undersökningar av byggnadsbeståndet i Sverige. I dessa anges värme- och elförbrukningen uppdelad per energibärare, och därmed kan värden direkt implementeras i *Knowledge Base*.

De övriga skapade byggstandarderna har en koppling till energiprestandakravet som ställs på nybyggda hus enligt BBR. Detta krav benämns ”byggnadens energianvändning” och omfattar förbrukning av energi för uppvärmning, komfortkyla, tappvarmvatten samt fastighetsenergi, inklusive omvandlingsförluster. Det sker dock ingen uppdelning mellan posterna, utan gränsen utgörs av den sammanlagda energiförbrukningen per m<sup>2</sup>, oavsett energibärare. I *Knowledge Base* måste energianvändningen matas in i form av antingen el eller värme. Det antas därför att ”byggnadens energianvändning” endast utgörs av värmeförbrukningen för samtliga BBR-relaterade<sup>4</sup> byggstandarder, i enlighet med de procentsatserna som anges i Tabell 5. Detta är ett rimligt antagande för hus värmda på andra sätt än med elvärme – i sådana utgörs elanvändningen<sup>5</sup> av fastighetsenergin, vilken normalt står för en mindre del i jämförelse med de övriga energiförbrukningsposterna.

Elvärmda byggnader, som exempelvis försörjs med energi från värmepumpar, har strängare energiprestandakrav på sig. Detta beror på att det är den tillförda elen till installationen och inte den till byggnaden tillförda värmen som tas med i beräkningen. Värmepumpar kan exempelvis leverera flera kWh värme per insatt kWh el. Skulle samma krav ställas på elvärmda hus som på icke-elvärmda, skulle det alltså bli för lätt att uppnå dessa. I *Knowledge Base* skulle en implementering av elvärmda byggnader innebära ett behov att skapa två byggnadstyper för varje sorts byggnad, vilket bedöms som överflödigt. Istället tas problemet upp i känslighetsanalysen, avsnitt 5.2.3, och elvärmda byggnader hanteras i modellen på samma sätt som icke-elvärmda.

BBR framför inga krav på en högsta tillåten förbrukning av hushålls- och verksamhetsel, och detsamma gäller de implementerade miljöcertifieringssystemen. Elanvändning som anges i *Knowledge Base* för respektive byggnadstyp (utom småhus och flerbostadshus) blir då samma oavsett byggstandard. Värden hämtas från ovan nämnda undersökningar av energianvändningen i lokaler i Sverige. Statistiken inkluderar all elanvändning, alltså även el som eventuellt används för uppvärmning/tappvarmvatten. Det uppstår då risk för dubbelräkning för alla byggnadstyper som även erhållit värden på värmeförbrukning enligt byggstandarderna ”BBR 19” eller någon av miljöcertifieringarna. Detta tas upp i

---

<sup>4</sup> Dvs. BBR 19 och samtliga miljöklassningarna i Tabell 5

<sup>5</sup> Elanvändningen inom begreppet ”byggnadens energianvändning”, dvs. exkl. hushålls-/verksamhetsel.

känslighetsanalysen, avsnitt 5.2.3. Då Energimyndighetens statistik som används täcker beståndet av lokaler, dämpas effekterna av denna osäkerhet eftersom lokalerna i de flesta fall värms med fjärrvärme och sällan med el, även om värmepumpsbruk förekommer.

## 2.5.4 Tillämpningar av byggstandarder

Alla byggnadstyper kan inte erhålla värden på energianvändningen för samtliga inmatade byggstandarder, detta beror på byggnadstypens natur. De byggnadstyper som skapas i *Knowledge Base* representeras av de byggnader som det funnits statistik att tillgå, vilket innebär att byggstandarden ”Genomsnittlig energianvändning” finns för samtliga byggnadstyper. Några fler har tillkommit, där energianvändningen antingen satts till noll (t.ex. åkermark, park) eller där antaganden, i vissa fall i kombination med statistik, har gjorts (t.ex. golfbana, kallgarage).

BBR skiljer mellan lokaler och bostäder, vilka tillsammans ska täcka in samtliga typer av byggnader. I och med att ingen uppdelning mellan energianvändning (per energibärare) för verksamhets- respektive fastighetsändamål görs i *Knowledge Base*, blir en kravsättning strikt enligt BBR orättvis mot vissa byggnadstyper. Exempelvis är det orimligt att en simbassäng eller ett sjukhus, vilka har en stor förbrukning av verksamhetsenergi, ska uppfylla samma krav som en kontorslokal, vilket blir påföljden i *Knowledge Base*. Därför anges ingen energiprestanda för andra byggstandarder än ”genomsnittlig energiförbrukning” för sådana byggnadstyper.

## 2.6 Förnybara energikällor

I *Knowledge Base* finns en omfattande möjlighet att koppla angivna byggnadstyper med förnybar el- och värmegenerering, samt ange egenskaper för fristående anläggningar. Totalt finns fem typer av energikällor tillgängliga:

- Solceller
- Solfångare
- Värmepumpar<sup>6</sup>
- Vindkraftverk
- Biobränsleeldade anläggningar

Beroende på typ, anges en uppsättning av värden för de relevanta parametrarna, kopplade till installationens egenskaper och klimatpåverkan. Alla parametrar används inte i beräkningarna i dagsläget, utan är tänkta att implementeras i framtida versioner av databasen och *Masterplanning tool*. Dessa redovisas inte i denna rapport. Samtliga egenskaper för förnybara källor är globala, och gäller inte för någon specifik region.

Det befintliga urvalet av installationer i *Knowledge Base* är väldigt begränsat, och många typer saknar vetenskapligt understödda värden på de olika egenskapsparametrarna. En omfattande utökning av utbudet har varit en av de centrala delarna av arbetet.

---

<sup>6</sup> Värmepumpen är i sig ingen förnybar energikälla, men räknas som en sådan då energin i det strömmande mediet kan antas vara förnybar. En viss elinsats krävs dock, vilket det tas hänsyn till i beräkningarna.

Eftersom ämnet klimatpåverkan är den centrala delen i Atkins *Carbon Critical Design*, lades tyngdpunkten på just detta vid skapandet av nya förnybara energiinstallationer i *Knowledge Base*. Det finns tusentals modeller av solceller, vindkraftverk och pellets pannor på marknaden med kända egenskaper gällande effekt, förväntad utnyttjandegrad och livslängd. Våldigt få av dessa har dock analyserats med avseende på den klimatbelastning de skapar vid tillverknings- och avvecklingsstadiet ("embodied carbon") samt vid drift ("operational carbon"). Exempelvis kan *embodied carbon* för ett vindkraftverk innefatta växthusgasutsläpp vid tillverkning av de olika delarna, transport av verket, installation och slutligen demontering inkl. avfallshantering. *Operational carbon* kan däremot vara mycket litet i sammanhanget – t.ex. utsläpp från en servicebil, som årligen besöker vindkraftverket för underhåll, eller tillverkning av smörjmedel och reservdelar. I *Knowledge Base* finns dock ingen möjlighet att tilldela något värde på *operational carbon* för förnybara energiinstallationer.

De installationer som lagts till i *Knowledge Base* är valda utifrån kriteriet att en livscykelanalys har genomförts på ett transparent sätt och att klimatpåverkan redovisats. Den schweiziska databasen *ecoinvent* version 2.2 (Ecoinvent Centre, 2010) och dess tillhörande rapporter har använts i stor utsträckning för detta ändamål. Samtliga redovisade värden avser klimatpåverkan till följd av växthusgasernas uppehållstid i atmosfären på 100 år (GWP<sub>100</sub>).

### 2.6.1 Solcellssystem

El från solceller är idag en utbredd och allmänt accepterad energikälla, dock betydligt mer vanlig i Mellan- och Sydeuropa, där klimatet, inte minst det ekonomiska, gynnar såväl egenproducenter som storskaliga anläggningar. Idag finns i Sverige ett statligt investeringsstöd för nätanslutna solceller, men det är i många fall svårt att få en lönsamhet i mindre privatägda anläggningar. I allt fler nya byggprojekt ingår dock solcellssystem som komplement till energiförsörjningen.

Solceller använder sig av det aktiva materialets (oftast kisel eller andra halvledare) egenskap att absorbera energirika fotoner från solstrålningen och skapa s.k. elektron-hål-par. Den elektromotoriska kraften som uppstår av elektronernas rörelse kan då driva en ström och generera el. Solceller behöver även en del elektronisk kringutrustning för att elen ska kunna användas. Detta gäller inte minst för nätanslutna system, där den likström som genereras i solcellen måste omvandlas till växelström i en s.k. växelriktare.

Solcellssystem, tillsammans med solfångare och värmepumpar, hanteras i *Masterplanning tool* som en förnybar energikälla kopplad till arean på det objektet som installationen tillhör. Det innebär att det redan på förhand, i *Knowledge Base*, går att reservera en viss andel av en byggnadstyps (avsnitt 2.5) takyta till solceller, solfångare eller en kombination av dessa. Detta har bedömts vara överflödigt inom ramarna för projektet, med motiveringen att solceller och solfångare ännu inte installeras på byggnader som standard, utan är snarare undantag från konventionella energiförsörjningssystem. Därför hanteras eventuella installationer för varje areaobjekt separat i *CityCAD/Masterplanning tool*, exempelvis för pilotprojektet Albano (avsnitt 4.2). Den totala solcellsarean anges då som en andel av takytan.

Egenskaperna för de solcellstyperna som skapats i *Knowledge Base* redovisas i Tabell 6. Värden är tagna från LCA-databasen *ecoinvent*, där ett antal system av olika typ med peak-effekten 3 kW undersökts.

**Tabell 6.** Egenskaper för solcellssystem som lagts till i *Knowledge Base*. Samtliga värden baseras på studier av 3 kW<sub>p</sub>-system, monterade på en ställning på ett sluttande tak.

Typ	Embodied carbon <sup>1</sup> (kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )	Verkningsgrad (η) (%)
Kisel - monokristallin	276	14,0
Kisel - polykristallin	233	13,2
Kisel - ribbon	200	12,0
Kisel - amorf	130	6,5
Tunnfilm - CdTe	139 <sup>2</sup>	10,7
Tunnfilm - CIGS	191	9,0

<sup>1</sup> Värden avser tillverkning, transport, installationsanordning och hantering av avfall efter uttjänad livslängd

<sup>2</sup> För CdTe-solceller används värdet för ett takplanintegrerat system.

Den årliga mängden levererad el ( $E_{el}$ ) från solcellsanläggningen beräknas enligt följande:

$$E_{el} = \eta Q_{in} A \quad (1)$$

där

$\eta$  [%] = solcellsanläggningens verkningsgrad

$Q_{in}$  [kWh/m<sup>2</sup>,år] = solinstrålning

$A$  [m<sup>2</sup>] = anläggningens area

Solinstrålningen hämtas från Tabell 3 för den valda konfigurationen av lutningen och orienteringen för solcellsanläggningen.

### 2.6.2 Solfångarsystem

Solfångare är en relativt enkel och pålitlig värmekälla, som tidigare använts i enfamiljshus i största utsträckning, men idag är förekommande även i beståndet av flerbostadshus. Ett solfångarsystem består av en absorbatorplatta eller ett vakuumrör, i vilka ett medium värms upp av solstrålningen. Mediet värmeväxlas sedan med t.ex. vattnet i ett radiatorsystem eller används direkt i lösningar med luftvärmning. Solfångare kan också användas för att värma upp tappvarmvatten. I de flesta vattenburna systemlösningar krävs en välisolerad behållare för att lagra den värme som levereras av solfångaren, då det är i princip omöjligt att matcha behovet av värme/varmvatten till produktionen. I samtliga system krävs också en viss elinsats för att driva pumpen som förflyttar mediet och därmed värmen i kretsen, samt för mät- och reglerutrustning.

Liksom solceller, presterar solfångare bäst under sommarhalvåret, medan värmeproduktionen under vinterperioden är i princip obefintlig. Därmed rekommenderas en övre gräns vid dimensionering av anläggningen ligga så att varmvattenbehovet under sommaren kan

tillgodoses. Värmeproduktionen från ett större system kommer inte kunna utnyttjas, då det normalt inte föreligger något värmebehov under sommarperioden. Samtidigt kommer anläggningen ändå inte att leverera tillräcklig mängd värme för att matcha behovet under vinterhalvåret. Ett solfångarsystem ska därför alltid kompletteras med en annan värmekälla, såsom elpatron eller allra lämpligast en biobränslepanna. Då kan eldningen ske under vinterperioden och försörja byggnaden med värme med varmvatten, medan solfångaren tar över uppgiften under sommaren och delvis under våren/hösten.

Solfångaranläggningar hanteras i *Knowledge Base* på motsvarande sätt som solceller. Databasen *ecoinvent* har använts även i detta fall, för olika typer och storlekar av solfångare.

**Tabell 7.** Egenskaper för solfångartyperna som lagts till i *Knowledge Base*. Värdena baseras på studier av specifika system med bestämda storlekar i *ecoinvent*.

Typ	Embodied carbon (kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )	Verkningsgrad (η) (%)	Elförbrukning (kWh/m <sup>2</sup> ,år)	Anmärkningar
Vakuumsör	225	51	17	Komplett villasystem för värme och varmvatten (utan spetsvärmeinstallationer), inkl. transport och installation
Planglasad, småskalig	225	42	13	
Planglasad, storskalig	177	(77)*	4	Komplett system för varmvattenförsörjning i flerbostadshus (utan spetsvärmeinstallationer), inkl. transport och installation

\* Den i studien angivna verkningsgraden 77 % förefaller orimlig, då de flesta planglasade solfångarna på den svenska och europeiska marknaden har en verkningsgrad på ca 30-50 % (SP, 2013). Flera solfångare med bäst utbyte innehar ett värde på ca **45 %**, vilket används för beräkningar i denna rapport

Den årliga mängden levererad värme ( $E_{th}$ ) från solfångaren beräknas enligt följande:

$$E_{th} = \eta Q_{in} A \quad (2)$$

där

$\eta$  [%] = solfångaranläggningens verkningsgrad

$Q_{in}$  [kWh/m<sup>2</sup>,år] = solinstrålning

$A$  [m<sup>2</sup>] = anläggningens area

Solinstrålningen hämtas från Tabell 3 för den valda konfigurationen av lutningen och orienteringen för solfångaranläggningen.

Verkningsgraden på solfångaren varierar beroende på ändamålet för dess användning, exempelvis uppvärmning av pool, värmeförsörjning eller varmvattenberedning. Dessa kräver olika temperaturer på det strömmande mediet – luft, vatten eller särskild värmebärande lösning, vilket i slutändan leder till att årsutbytet varierar. De värden som anges i Tabell 3 avser specifika driftfall för de systemen som antagits vara representativa för svenska förhållanden.

### 2.6.3 Värmepumpar

Försäljningen av värmepumpar av olika slag har växt stadigt sedan mitten av 1990-talet, till stor del till följd av det konverteringsbidrag som fanns t.o.m. år 2006. Sedan dess har antalet nya värmepumpsinstallationer legat på en stadig nivå, men pumparna på marknaden har samtidigt blivit allt effektivare (Energimyndigheten, 2009b). I denna rapport hanteras endast värmepumpar för användning i byggnader, men även en del av storskalig värmeproduktion vid exempelvis fjärrvärmeverk kan ske med värmepumpar. I sådana fall utgörs energikällan ofta av returvärme, spill- eller sjövattnen. I bostadshus och lokaler är bergvärmepumpar och luftvärmepumpar vanligast förekommande.

En värmepump tar tillvara på värmeenergin i källmediet (ex. vatten eller luft) och med hjälp av ett s.k. köldmedium höjer temperaturen på den slutliga energibäraren. För att processen ska kunna ske, krävs alltid en energiinsats, oftast i form av el. Kvoten mellan den levererade värmeenergin och insatta elektriska energin benämns värmefaktor och kan användas som ett effektivitetsmått för värmepumpen. Denna varierar beroende på källmediets och slutmediets temperatur samt själva pumpens egenskaper. Genomsnittet av värdet på värmefaktorn under ett år kallas årsvärmefaktor (SPF, Seasonal Performance Factor)

Den befintliga strukturen i *Masterplanning tool* är anpassad för implementering av berg- och markvärmepumpar. För att kunna modellera en värmepumpsinstallation i en byggnad, krävs det att areaobjektet som byggnaden ligger inom består till någon del av en tom yta vid sidan om själva huskroppen. Denna yta reserveras för värmepumpsanvändning och utgör basen för värmepumparnas egenskaper, samt används i beräkningarna. Således kan inte en byggnadskonfiguration som tar upp hela arean för ett objekt i *Masterplanning tool*, t.ex. ett punkthus, försörjas med energi från en värmepump. Ett förslag till förändring av databasstrukturen med avseende på detta föreslås i avsnitt 6.3. För övriga byggnadskonfigurationer som villakvarter, hus med innergård och öppna ytor hanteras värmepumpar på ovan nämnda sätt.

Tre olika värmepumpstyper implementerades i *Knowledge Base*, se Tabell 8. Urvalet baserades på genomsnittsvärden från Energimyndighetens (2013) tester av värmepumpar på den svenska marknaden.

**Tabell 8.** Värmepumpstyperna och deras egenskaper, genomsnittsvärden från Energimyndighetens (2013) jämförelser av värmepumpar.

Typ	Effekt ut (värme)	Årsvärme- faktor	Anmärkningar
	(kW)		
Luft-luftvärmepump	5	2,6	Test vid förhållanden i Borås (årsmedeltemp. +6,1°C), för hus med 20 000 kWh värmebehov
Luft-vattenvärmepump	9,5	3,0	Test vid förhållanden i södra Sverige (årsmedeltemp. +6°C), radiatorsystem, 20 % till varmvattenberedning, 20 000 kWh värmebehov
Bergvärmepump	10	3,5	Test för hus med 24 200 kWh värmebehov, ca 20 % till varmvattenberedning



Utifrån den mängden energi som varje värmepumpstyp förväntas leverera (se anmärkningar i Tabell 8) och antagandet att ett genomsnittligt hus med som tar upp en markyta på 150 m<sup>2</sup> är omgiven av 500 m<sup>2</sup> tomtarea, beräknades areaupptaget. Resultaten framgår av Tabell 9 tillsammans med resten av de i *Knowledge Base* inmatade värdena för de valda värmepumpstyperna.

**Tabell 9.** Egenskaper för de värmepumpstyperna som skapats i *Knowledge Base*. Enheten m<sup>2</sup> avser arean som är reserverad för värmepumpsanvändning.

Typ	Embodied carbon (kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )	Årsvärmefaktor (-)	Areaupptag (m <sup>2</sup> /kW)
Luft-luftvärmepump	3	2,6	61
Luft-vattenvärmepump	3	3,0	61
Bergvärmepump	9	3,5	50

Värden för *embodied carbon* har hämtats från LCA-databasen *ecoinvent*. I denna finns en livscykelanalys för ett bergvärmepumpssystem med effekten 10 kW, inklusive borrhål. I analysen antas värmepumpen försörja ett 150 m<sup>2</sup> stort enfamiljshus med värmebehovet av ca 20 000 kWh, vilket är i linje med vad pumparna i Energimyndighetens (2013) jämförelse presterar. I brist på andra studier har samma klimatpåverkan tilldelats luft-luft- och luft-vattenvärmepumparna som för bergvärmepumpen enbart, dvs. utan borrhålen. De erhållna värdena har därefter dividerats med 500 m<sup>2</sup> enligt ovan för att erhålla den specifika klimatpåverkan per m<sup>2</sup>. Vid sammanräkning i *Masterplanning tool* adderas klimatpåverkan från värmepumpen till modellens totala klimatbelastning.

Den årliga mängden levererad värme ( $E_{th}$ ) från värmepumpen beräknas enligt följande:

$$E_{th} = \frac{A_{res} C t}{a} \quad (3)$$

där

$A_{res}$  [m<sup>2</sup>] = reserverad area för värmepumpsbruk

$C$  [%] = värmepumpens utnyttjandegrad

$t$  [h/år] = 8760

$a$  [m<sup>2</sup>/kW] = areaupptag

Utnyttjandegraden är i *Knowledge Base* en regionsbunden parameter som gäller för alla typer av värmepumpar. Den bestäms av förhållandet mellan mängden värme som pumpen levererar och mängden värme som pumpen skulle levererat om den gått på sin maximala effekt under motsvarande tidsperiod. I den svenska databasen har utnyttjandegraden 28 % beräknats på detta sätt utifrån värden för bergvärmepumpen (se Tabell 8) och därefter antagits gälla även för resterande typerna.

Den årliga mängden tillsatt el ( $E_{el,in}$ ) som krävs för att driva värmepumpsprocessen beräknas enligt:

$$E_{el,in} = \frac{E_{th}}{SPF} \quad (4)$$

där

$E_{th}$  [kWh/år] = årliga mängden levererad värme

SPF [-] = årsvärmefaktor

#### 2.6.4 Vindkraft

Storskalig vindkraft är förmodligen den mest omdebatterade energikällan i Sverige i dagsläget. Utbyggnaden sker i snabb takt, och riksdagen har beslutat om en nationell plan för att uppnå 30 TWh vindkraftsproducerad el under 2020, från dagens ca 6 TWh (Svensk Energi, 2013). Det finns dock ett omfattande motstånd till en placering av stora vindkraftverk i öppna landskap, såsom fjäll- och slättområden, dvs. på platser med mest gynnsamt vindklimat. Verken anses störa landskapsbilden, samt i vissa fall komma i konflikt med bl.a. kulturminnes-, naturskydds- och militära områden. Trender för anläggning av stora vindkraftsparker förflyttar sig allt mer åt placering i skogsområden och ute till havs, där visuell och övrig inverkan på omgivningen kan minimeras.

Små vindkraftverk, med bladlängden på mellan ca 1-5 meter utnyttjar inte vindresursen lika effektivt som stora verk med en effekt på flera MW. Därmed blir investeringskostnaden per effektenhet högre för småskalig vindkraft, och en lönsamhet blir svårare att uppnå. Generellt rekommenderas inte en placering av vindkraftverk i stadsmiljö p.g.a. den dåliga utnyttjandegraden. Eftersom ett samhällsplaneringsprojekt ändå kan omfatta områden med öppna ytor (t.ex. åkermark och glesbebyggda områden), anses vindkraft vara en lämplig energikälla att implementera i *Knowledge Base*.

Vindkraftverk placeras i *Masterplanning tool* som enskilda objekt i modellen. Den totala mängden producerad el i varje verk tillgodoräknas den totala summeringen för elanvändningen för hela området. *Embodied carbon* för varje verk adderas till modellens totala klimatbelastning.

Parametrarna som anges för varje vindkraftverkstyp framgår av Tabell 10 för de typerna som lagts till i *Knowledge Base*.

**Tabell 10.** Egenskaper för vindkraftverkstyperna som lagts till i *Knowledge Base*.

Typ	Rotordiameter (m)	Embodied carbon (kg CO <sub>2</sub> e/enhet)	Effekt (kW)	Referenser och anmärkningar
A	1,7	288	0,6	Allen, Hammond & McManus (2008)
B	12,5	44 613	30	Ecoinvent, inkl. verkets viktigaste fasta och rörliga delar
C	23,8	164 000	150	Ecoinvent, inkl. verkets viktigaste fasta och rörliga delar

För att kunna beräkna den totala elektriska energin som levereras av ett vindkraftverk, måste hänsyn tas till den byggnadstyp som verket placerats innanför i *Masterplanning tool*.

modellen. Varje byggnadstyp har på förhand tilldelats ett värde på parametern landskapsbild (se avsnitt 2.4.4). I och med detta bestäms utnyttjandegraden för vindkraftverket.

Den årliga mängden levererad el ( $E_{el}$ ) från verket beräknas enligt följande:

$$E_{el} = P C t \quad (5)$$

där

$P$  [kW] = vindkraftverkets nominella effekt

$C$  [%] = vindkraftverkets utnyttjandegrad

$t$  [h/år] = 8760

### 2.6.5 Biobränslen och pannor

Som en del i utfasningen av oljepannor för uppvärmningsändamål har många biobränsleeldade pannor installerats i såväl småhus som flerbostadshus. Samma trend gäller storskalig produktion av när- och fjärrvärme, där olja i allra flesta fall används endast som reservkälla eller spets vid hög last. Marknaden för biobränslen har också ökat i och med den stora efterfrågan, och kvalitén på bränslet har blivit ett allt mer uppmärksammat ämne. Även utbudet av pannor med ett brett effektspann för varierande ändamål har blivit större. Den biobränslerelaterade marknadens tillväxt har också skett till följd av att bioenergi idag ses som en klimatneutral energikälla och bränslen är således befriade från koldioxidskatt. Idag utgör biobränslen i Sverige ca hälften i bränslemixen för värmeproduktion i bostads- och servicesektorn (Energimyndigheten, 2011b) och andelen växer i snabb takt.

Som ett första steg implementerades ett antal bränslen i *Knowledge Base*, se Tabell 11. Kriteriet för inkludering var att bränslet används i en någorlunda stor utsträckning i Sverige, samt att effektivt värmevärde vid leverans till anläggningen fanns att tillgå. Värden som har tagits från Bränslehandboken (Strömberg & Herstad Svärd, 2012) avser medianvärdet för studier av bränslen från olika leverantörer.

**Tabell 11.** Effektivt värmevärde ( $H_{eff}$ ) för biobränsletyper som lagts till i *Knowledge Base*.

Typ	Värmevärde (kWh/kg)	Referens
Träpellets	4,8	Bränslehandboken 2012
Flis	2,3	Svenska Trädbränsleförbundet (2013)
Träbriketter	4,7	Svenska Trädbränsleförbundet (2013)
GROT	2,4	Bränslehandboken 2012
Salix	4,4	Bränslehandboken 2012
Bark (barrträd)	1,9	Bränslehandboken 2012
Bark (björk)	2,6	Bränslehandboken 2012
Ved (björk)	4,5	Bränslehandboken 2012
Ved (asp)	4,8	Bränslehandboken 2012
Halm	4,0	Bränslehandboken 2012
Rörflen	3,8	Bränslehandboken 2012
Industrihampa	4,3	Bränslehandboken 2012

Biobränsleanläggningar placeras i *Masterplanning tool* som enskilda objekt i modellen. Mängden producerad värme i varje panna tillgodoser den totala summeringen för värmeanvändningen/genereringen för hela området. *Embodied carbon* för varje anläggning adderas till den totala klimatbelastningen för modellen. Parametrarna som anges för varje typ av panna framgår av Tabell 12 för de typerna som lagts till i *Knowledge Base*.

**Tabell 12.** Egenskaper för biobränslepannor som lagts till i *Knowledge Base*. Värdena baseras på studier av specifika biobränslepannor med tillhörande utrustning i *ecoinvent*.

Typ	Effekt ut (värme)	Embodied carbon	Verknings- grad ( $\eta$ )	Utnyttj.- grad	Anmärkingar
	(kW)	(kg CO <sub>2e</sub> /enhet)	(%)	(%)	
Pelletspanna	15	2 926	82	24	Panna för enfamiljshus, inkl. matare och lagerutrymme för bränslet
Pelletspanna	50	5 584	85	24	Panna för flerfamiljshus, inkl. matare och lagerutrymme för bränslet
Vedpanna	6	277	75	11	Liten kamin och dyl., inkl. lagerutrymme; blandad bränslemix
Vedpanna	30	1 312	68	18	Panna i enfamiljs-/radhuskällare, inkl. lagerutrymme; blandad bränslemix; inkl. förluster i vattentank
Vedpanna	100	2 593	70	18	Panna i ett flerbostadshus, inkl. lagerutrymme; blandad bränslemix; inkl. förluster i vattentank
Flispanna	50	13 226	80	24	Panna i flerfamiljshus/radhus, inkl. matare och lagerutrymme för bränslet; blandad bränslemix
Flispanna	300	24 021	82	24	Panna för ett större byggkomplex, inkl. matare och lagerutrymme för bränslet; blandad bränslemix
Flispanna	1000	33 584	85	24	Närvärmepanna, inkl. matare och lagerutrymme för bränslet; blandad bränslemix

Utnyttjandegraden har beräknats utifrån pannans effekt och den simulerade tiden som den varit i drift under ett år i *ecoinvent*s studier. Beroende på kvaliteten på bränslet samt systemet som pannan installeras i, kommer den verkliga utnyttjandegraden att variera.

Den årliga mängden levererad värme ( $E_{th}$ ) från pannan beräknas enligt följande:

$$E_{th} = PCt \quad (6)$$

där

P [kW] = biobränslepannans utgående värmeeffekt

C [%] = pannans utnyttjandegrad

t [h/år] = 8760

Den angivna verkningsgraden avser pannans förmåga att utnyttja energiinnehållet i bränslet för värmeproduktion. Den årliga bränsleförbrukningen ( $b$ ) beräknas enligt:

$$b = \frac{E_{th}}{\eta Q_f} \quad (7)$$

där

$E_{th}$  [kWh/år] = årliga mängden levererad värme

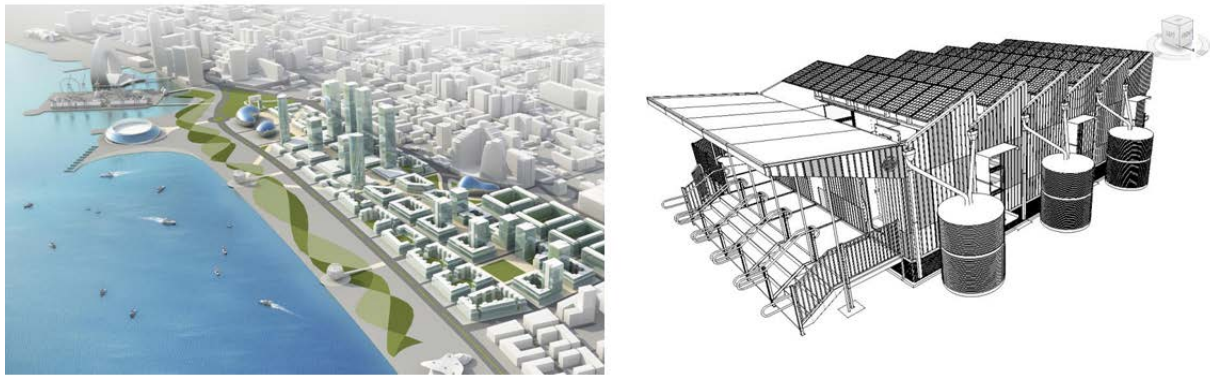
$\eta$  [%] = pannans verkningsgrad

$Q_f$  [kWh/kg] = bränslets värmevärde

## 3 Carbon Critical Masterplanning tool

### 3.1 Om CityCAD

I varje samhällsplaneringsprojekt är det viktigt att kunna erbjuda kunden en visualisering av det framtida utseendet på området. Idag används i första hand 3D-skisser som komplement till de tvådimensionella ritningar som arbetas fram. Även om båda dessa typer ofta skapas med ett CAD-verktyg, innehåller de ingen ytterligare information än den strikt geometriska. Byggbranschen har tagit ett steg längre och implementerat BIM (Building Information Modeling) i många projekt. BIM parametriserar varje komponent så att den, förutom att innehålla de spatiala egenskaperna, utrustas med uppgifter om exempelvis material, kvantitet eller kostnader. Nyttan med användningen av BIM i samhällsplaneringsprojekt kan dock starkt ifrågasättas, då det i allra flesta fall handlar om konceptuell planering och utformning av kvarter, på en i jämförelse mycket lägre detaljnivå. Behovet av ett hybridverktyg som skulle lämpa sig väl för en samhällsplanerare har länge varit stort och har inte tillgodosetts förrän under de senaste åren genom CityCAD.



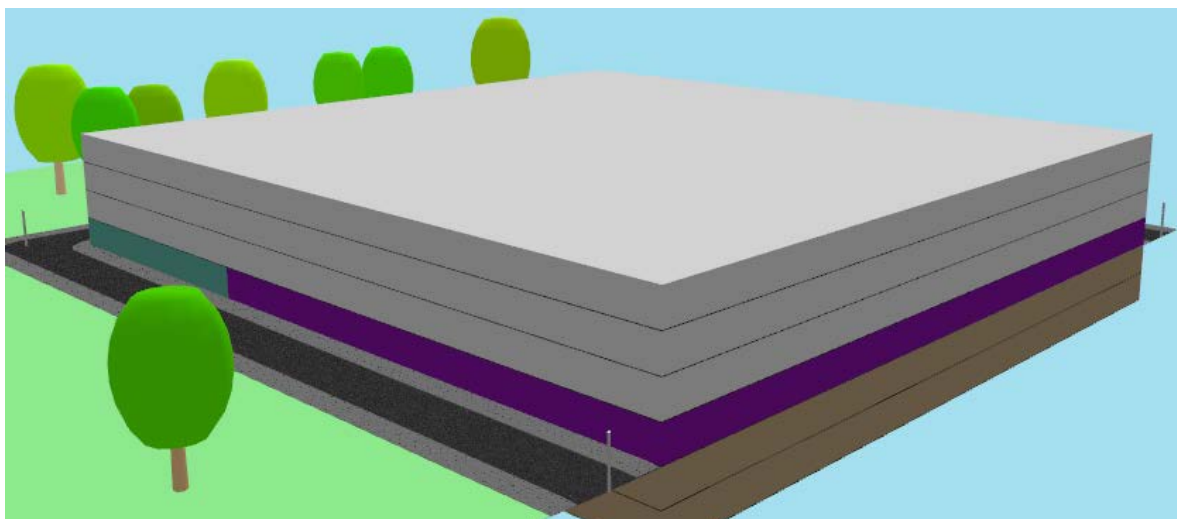
**Figur 1.** Visualisering i form av 3D-skiss (vänster) och BIM (höger).

CityCAD är ett datorprogram för samhällsplanering, utvecklat av London-baserade företaget Holistic City Software. Likt BIM, låter CityCAD användaren definiera information om varje skapat objekt (byggnad, park, torg, väg, öppen yta osv.). Ett urval av möjliga egenskaper är:

- *Byggnader*: sammansättning av olika ”byggnadstyper”, energianvändning, boendetäthet, parkeringsbehov, öppettider, vattenanvändning, avfallsgenerering, egna valbara parametrar
- *Energiförsörjning*: solceller och solfångare på byggnaders tak, vindkraftverk, biobränslepannor
- *Öppna ytor*: andel gröna ytor, typer av växtlighet
- *Vägar/gator*: utbredning, bussfiler, parkeringsplatser, exponering av skyltfönster osv.

Exempelvis kan en byggnad bestå av (se Figur 2):

- Tvåvånings-garage under marknivå
- 2/3 handelsyta samt 1/3 yta för service på bottenvåningen
- Lägenheter på de övre planen, med beräknat 50 m<sup>2</sup> per boende
- 20 m<sup>2</sup> solceller och solfångare på taket.



**Figur 2.** Exempel på en byggnads utseende i CityCAD.

Till grund för en CityCAD-modell ligger en karta, som kan importeras från en CAD-ritning eller till och med en handritad skiss. Det finns också möjlighet att lägga en flygbild som bakgrund. Ovanpå denna placeras geometriska objekt av typen *line*, *polyline*, *arc*, *circle* och *ellipse*, vilka enklast hämtas från en ritning gjord i ett CAD-verktyg, men kan också skapas för hand utifrån kartan. CityCAD skapar därefter referenspunkter i form av noder för varje objekt, och de slutna ytor som då eventuellt uppstår blir till areaobjekt. Användaren kan sedan definiera egenskaperna för vart och ett av objekten, eller göra det gemensamt för objekt med exempelvis samma byggnadstyp, geografisk gruppering (*group*) eller den tidsfas (*phase*) i samhällsplaneringsprocessen som de tillhör.

Resultaten kan sedan användas för att få en sammanställd uppfattning om området, relaterad till en mängd olika bedömningskategorier, från den genomsnittliga energianvändningen till behovet av parkeringsplatser eller avståndet till närmaste skola. Därefter kan verktyget användas för att skapa olika scenarier för utveckling och förbättring av området.

### 3.2 Atkins-pluginet Masterplanning tool

Inom ramarna för *Carbon Critical Design*-programmet, har Atkins tillsammans med Holistic City Software skapat ett verktyg, *Masterplanning tool*, för bedömning av klimatpåverkan från anläggning av stadsdelar och infrastruktur. Verktöget är ett tillägg, s.k. *plugin*, till CityCAD, som tilldelar varje byggnadsobjekt ett flertal extra parametrar, främst förknippade med förnybar el- och värmegenerering, hantering av uppkommet avfall samt trafikmängderna som uppstår till följd av byggnadens användning. Samtliga parametrar hämtar i sin tur värden från *Knowledge Base* (avsnitt 2.1) för angiven region. Vissa värden går dessutom att ange specifikt för varje objekt direkt i CityCAD/*Masterplanning tool*.

Energianvändningen, och med denna förknippade växthusgasutsläpp, i ett byggnadsobjekt i *Masterplanning tool* räknas som energi- respektive klimatbelastning för det modellerade området. Den förnybara elen och värmen som genereras lokalt dras då ifrån och fungerar som en sänka. Resultaten kan därefter presenteras t.ex. i form av ett netto för energianvändning respektive klimatpåverkan.



### 3.3 Albano som pilotprojekt i Sverige

Atkins har sedan början av 2011 varit involverat i skapandet av ett gestaltningsprogram för detaljplanen för Albano – Stockholms nya universitetsområde (Stockholms stad, 2013). Programmet blev färdigt i slutet av 2012 och är i nuläget i godkännande/antagandefasen, innan detaljplanen kan vinna laga kraft, efter att eventuella överklaganden bemötts och besvarats.

Albano ligger norr om de centrala delarna av Stockholm och sträcker sig norrut från Roslagstull. Området begränsas av Roslagsbanan i öst och Roslagsvägen i väst, vilka planskiljs genom en järnvägsbro i den norra änden. I södra Albano ligger AlbaNova universitetscenter, som rymmer institutionerna för fysik, astronomi och bioteknik vid KTH och SU. Figur 3 visar ett flygfoto över området.

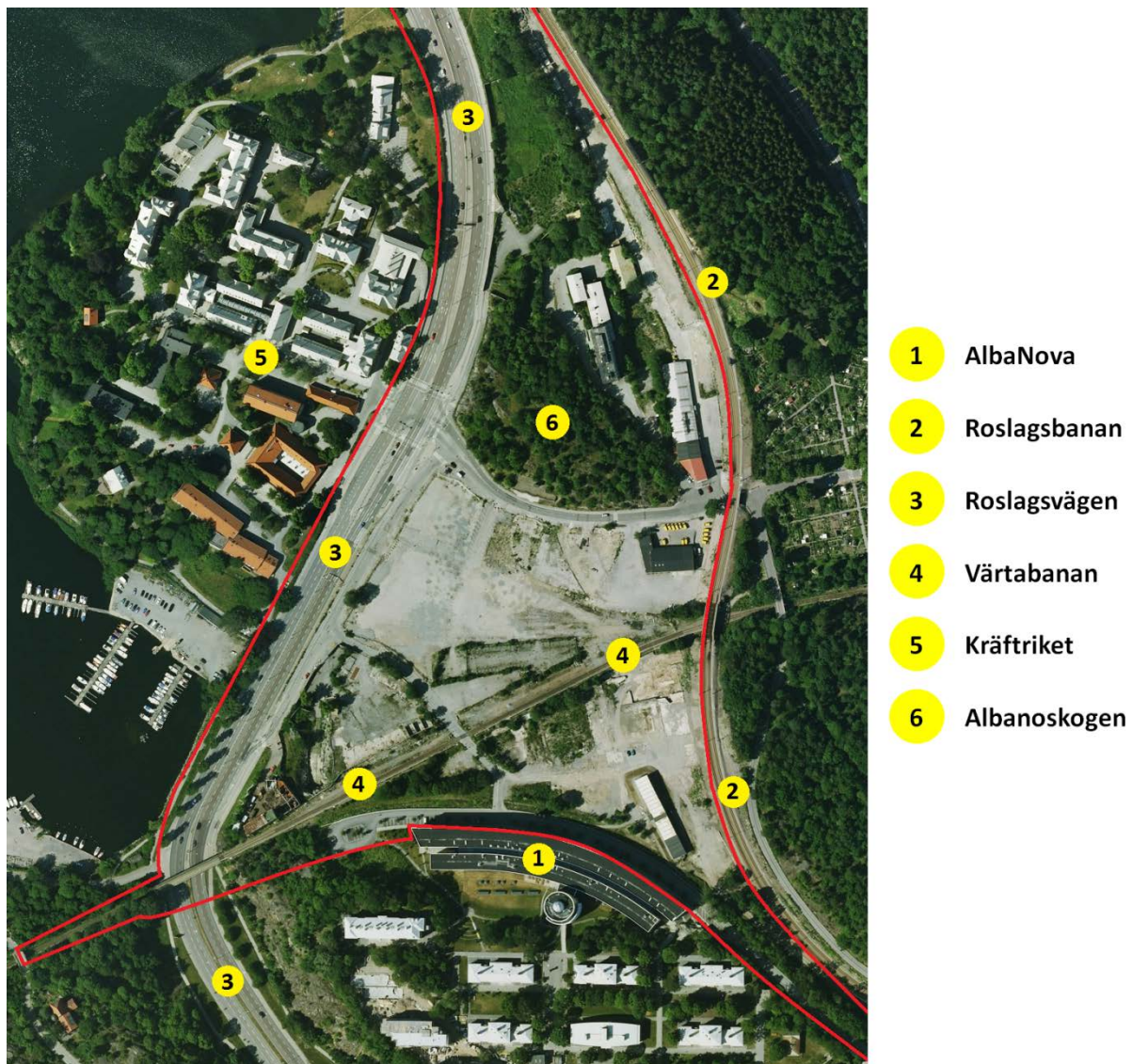
Mellan AlbaNova, Roslagsvägen och Roslagsbanan finns en ca 8 hektar stor oanvänd yta, ett gammalt industriområde. Inom dess gränser finns idag endast ett mindre åkeri, en bygghandel och kontorshotellet Teknikhöjden. Dessutom korsas området av Värtabanan, som används för godstrafik till och från Värtahamnen. I norra delen finns Albanoskogen, som innehar ett visst kulturmiljövärde. Kräftriket (nr 5 på kartan) hör formellt inte till detaljplaneområdet, men har tagits i beaktning vid utformning av detta.

Nya Albano universitetsområde ska utgöra ett nav mellan tre befintliga universitetsområden: Kungliga Tekniska högskolan, Stockholms universitet och Karolinska Institutet. Det ska utformas så att det skapas en kreativ miljö, där lokaler för utbildning och forskning samt bostäder integreras i varandra. Byggnadsfasaderna ska innehålla stora glaspardier, och topografin i området ska utgöras av tydliga inslag av gröna terrasser på olika höjdnivåer och vattendrag. Nya Albano ska vara lättillgängligt med kollektivtrafik, samtidigt som tydliga gång- och cykelstråk skapas såväl inne i området som ut ifrån det.

En av de viktigaste delarna i projektet är en överdäckning av Värtabanan, som idag utgör en tvärgående barriär genom området. Ovanpå överdäckningen skapas ett huvudstråk, Albanovägen, som förbinds med Bellevueparken i väst genom en ombyggnad av järnvägsbron över Roslagsvägen.

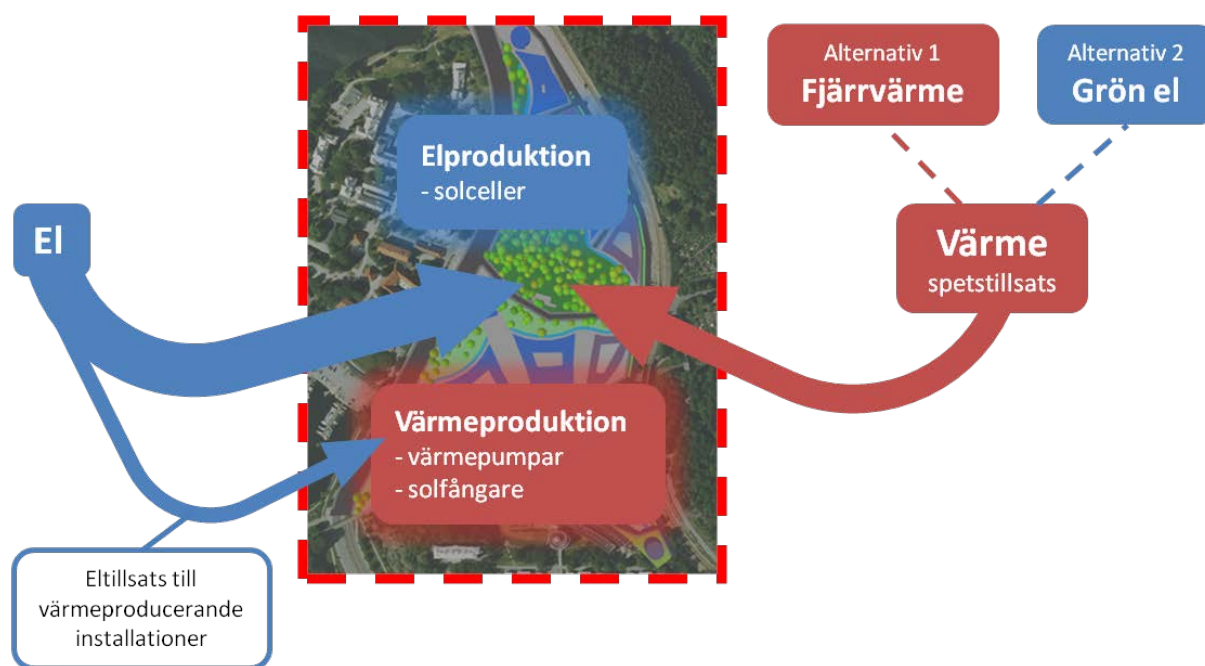
Totalt planeras nybygget ge upphov till ca 150 000 m<sup>2</sup> BTA, varav 100 000 m<sup>2</sup> kommer att utgöra lokaler för undervisning, kontor och laboratorier, medan 50 000 m<sup>2</sup> delas upp på ungefär 1000 bostadslägenheter för studenter och gästforskare. Detaljplanen så som den föreslås av gestaltningsprogrammet finns i Bilaga III. Byggnaderna i kvarteren 13 och 14 i Norra Albano planeras att antingen uppföras med bostäder eller lokaler på de övre planen, beroende på det rådande behovet.





**Figur 3.** Flygfoto över Albanoområdet. Gränsen för detaljplaneområdet är markerad i rött.

Energi- och resurshushållningen har en hög prioritet vid utformningen av området. Värme och kyla ska produceras lokalt, och ett värmelager kommer att anläggas i berggrunden under Albano. Därmed utgör inte fjärrvärme ett primärt alternativ för värmeförsörjning av området. För att däremot kunna tillgodose värmebehovet under spetslast föreslås en användning av fjärrvärme eller elpatroner. Möjligheter till att producera egen el i takplacerade solcellsanläggningar ska finnas. En schematisk bild av energisystemet enligt detaljplaneförslaget presenteras i Figur 4. Lokal produktion av el och värme antas ligga innanför systemgränsen, och import sker från utanför området.



**Figur 4.** Schematisk bild av energiflöden över systemgränsen för Albano enligt detaljplaneförslaget.

Byggnaderna ska uppföras enligt miljöklassningen Miljöbyggnad SILVER som lägst. De kommer att ha en tung stomme med god isolering, vilket gynnar energihushållningen. Energieffektiva lösningar som exempelvis LED-belysning, driftstyrning av kyl- och ventilationsaggregat samt återvinning av värme i frånluft ska installeras. Värme ska också kunna distribueras mellan byggnaderna, så att eventuella överskott kan täcka behoven i övriga delar av området. Ett omfattande avfallshanteringssystem med fraktionssortering ska implementeras, vilket kommer att ge en hög materialåtervinningsgrad och därmed främja resurshållningen.

### 3.4 Implementering i Masterplanning tool

Normalt levereras ritningar för ett planerat område i CAD-format, även om *Masterplanning tool* tillåter användaren att för hand skissa kvarter och vägar. Det senare alternativet kan vara användbart på ett väldigt tidigt stadium i projektet, när detaljnivån på planen ännu är låg.

I pilotfallet Albano skapades modellen utifrån en informationsrik ritning, skapad i AutoCAD. Konceptuell samhällsplanering, som *Masterplanning tool* är ämnat att användas för, kräver betydligt mindre data än vad som normalt finns i en sådan ritning. Endast det väsentliga, såsom vägdragning, kvarters- och byggnadsgränser, samt övriga ytor – parker, vatten osv. behöver importeras. Det finns också möjlighet i *Masterplanning tool* att ta hänsyn till topografin och skapa en tredimensionell modell, vilket dock inte har gjorts i denna pilotstudie. Om höjdskillnader adderas, blir hanteringen i programmet mer komplicerad och tidskrävande, men ”verklighetskänslan” ökar. För konceptuell design bedöms en plan modell vara tillräcklig. Byggnaderna förblir dock tredimensionella oberoende av valet.

För att få en större verklighetsanknytning, läggs lämpligen ett flygfoto (ortofoto) eller en karta som bakgrundsbild. För att rätt dimensioner ska erhållas, kopplas koordinater för tre punkter på flygbilden eller kartan till motsvarande positioner i modellen.



## 4 Resultat

Resultaten som presenteras i detta kapitel har främst svarat mot det ställda målet – kvantifiering av växthusgasutsläppen i samband med nybyggnationen i Albano. Avsnittet inleds med en översiktlig beskrivning av den uppbyggda modellen av området. Därefter presenteras områdets förväntade förbrukning av energi och till den kopplade klimatpåverkan. Slutligen jämförs ett antal alternativ för lokal el- och värmeproduktion i syfte att minska de totala koldioxidutsläppen.

### 4.1 Albano i Masterplanning tool

*Masterplanning tool* är ett verktyg som i första hand är ämnat för att beräkna klimatbelastningen från samhällsplaneringens olika delar och faser. Dock är en verklighetstrogen visualisering av området alltid av stort värde när resultaten ska redovisas för beställaren av ett uppdrag. I Figur 5 visas den CityCAD-modell som skapats för Albano, så som området ser ut idag. Ett flygfoto taget från samma håll har lagts till som jämförelse. Här ligger AlbaNova till vänster i bild, Brunnsviken i bakgrunden, och det framtida bebyggelseområdet som en tom yta i mitten.



**Figur 5.** Albanoområdet sett från öst. Överst: flygfoto över området. Nederst: modell skapad i CityCAD/*Masterplanning tool*.

Eftersom bebyggelsen inom detaljplaneområdet idag är minimal, görs ingen klimatpåverkansbedömning för den aktuella situationen. Istället läggs fokus på att presentera och jämföra resultaten för tänkbara scenarier, enligt vilka det nya området kommer att utformas.

## 4.2 Nya Albano

Alla resultat presenteras endast för bebyggelsen inom detaljplaneområdet. Kräfteriket samt universitetsbyggnaden AlbaNova, inkl. byggnader söder om denna, finns med i modellen endast för illustrationsändamål och ingår inte i beräkningarna.

I Figur 6 presenteras utseendet för nya Albano enligt förslaget i gestaltningsprogrammet för detaljplanen. Färgkodningen i bilden bestäms av byggnadstypen som objekten i modellen blivit tilldelade, dock har den nya bebyggelsen märkts ut separat med blått (universitetslokaler) respektive lila (bostäder) för ytterligare förtydligande. Ett flygfoto har lagts som bakgrund.

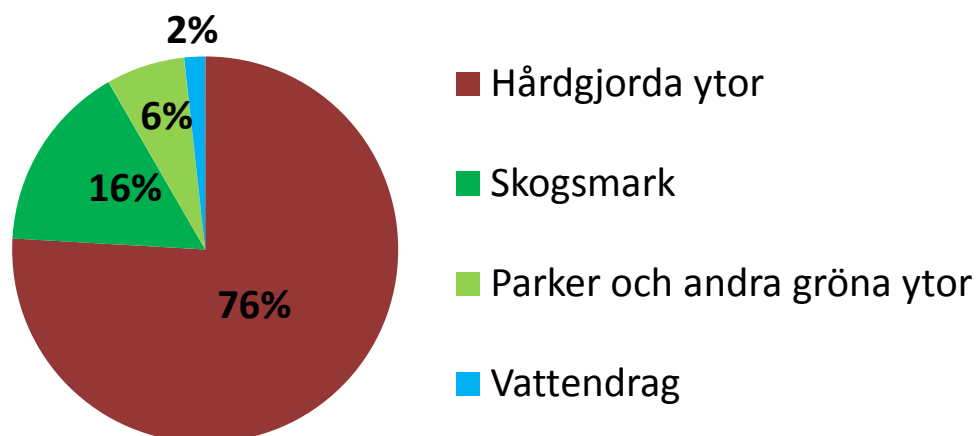


**Figur 6.** Nya Albano universitetsområde i CityCAD. Nya byggnader är färglagda i blått (universitetslokaler) och lila (bostäder).

Sammansättningen av olika marktyper inom detaljplaneområdet framgår av Figur 7. Den hårdgjorda ytan avser bebyggelse samt alla vägar och andra ytor som inte upptas av vegetation. En förenkling har gjorts i detta fall, då ett antal gröna terrasser är tänkta att

anläggas på t.ex. hustak. Den verkliga mängden hårdgjorda ytor bör således vara mindre än det angivna värdet. Totala arean för detaljplaneområdet är ca 15 ha.

## Fördelning av markanvändningstyper i Albano



**Figur 7.** Fördelning av markanvändningstyper i nya Albano.

Den sammanlagda arean (BTA) för nybyggnationen i Albano uppgår i modellen till ca 53 000 m<sup>2</sup> bostäder och ca 94 000 m<sup>2</sup> universitetslokaler. Eftersom byggnaderna har en komplex geometri i verkligheten, med taksprång, innergårdar och ojämna fasader i flera plan, gjordes ett antal förenklingar. Varje byggnads BTA jämfördes med den föreslagna i gestaltungsprogrammet och en skillnad på under 10 % accepterades. Vid större differenser justerades golvarean manuellt.

Den totala årliga energianvändningen för nya Albano beräknas till 16 GWh el och 9,2 GWh värme.

### 4.3 Klimatpåverkan

I detta avsnitt presenteras klimatpåverkan som uppstår till följd av energianvändningen i de nya byggnaderna. Då områdets utformning inte är helt fastställt, bedöms olika alternativ till vilka verksamhetstyper som kommer att finnas. Klimatbesparingar till följd av ändrad miljöcertifiering undersöks också.

#### 4.3.1 Referensalternativ

Referenspunkten för klimatpåverkansbedömningen av de olika alternativen för utformning av bebyggelsen i Albano utgörs av följande:

- byggnation och kvartersindelning enligt detaljplaneförslaget (Figur 6 och Bilaga III), byggnaderna klassade enligt Miljöbyggnad SILVER
- klimatpåverkan endast från byggnadernas el- och värmeanvändning, dvs. *operational carbon* från nordisk medel (se avsnitt 2.4.1) respektive fjärrvärme i Stockholm (avsnitt 2.4.2)
- inga installationer för produktion av el och värme lokalt.



Notera att referensalternativet inte utgår från detaljplanens förslag på energiförsörjning, utan en konventionell lösning med el från nätet och fjärrvärme, dvs. ingen lokal produktion.

*Embodied carbon* för byggnader lämnas helt och hållet utanför samtliga beräkningar, se avsnitt 1.4 för motivering. Alla klimatpåverkansberäkningar är gjorda utifrån en antagen uppehållstid för växthusgaserna i atmosfären på 100 år (GWP<sub>100</sub>).

#### 4.3.2 Alternativa verksamheter i nya bebyggelsen

Två av de nya byggnaderna i Norra Albano (kvarter 13 och 14) föreslås av gestaltningsprogrammet att antingen fyllas av bostäder eller universitetslokaler på de tre översta våningsplanen. Resultaten redovisas i Tabell 13 för referensalternativet med bostäder respektive universitetslokaler i dessa byggnader.

**Tabell 13.** Klimatpåverkan från den föreslagna nybyggnationen i Albano för referensalternativet med bostäder respektive universitetslokaler i kvarter 13-14.

Byggnadstyp	Total area (BTA)		Klimatpåverkan	
	m <sup>2</sup>		ton CO <sub>2</sub> e/år	
	Referensalternativ bostäder i kv. 13-14	Referensalternativ universitetslokaler i kv. 13-14	Referensalternativ bostäder i kv. 13-14	Referensalternativ universitetslokaler i kv. 13-14
Bostäder	53 028	44 138		
- elanvändning			329	273
- värmeanvändning			303	252
<b>Totalt bostäder</b>			<b>632</b>	<b>525</b>
Universitetslokaler	93 601	102 491		
- elanvändning			1 396	1 528
- värmeanvändning			472	517
<b>Totalt univ.lokaler</b>			<b>1 868</b>	<b>2 045</b>
<b>Totalt</b>	<b>146 629</b>		<b>2 499</b>	<b>2 570</b>

Samtliga nedanstående resonemang som hänvisar till referensalternativet avser utformningen med bostäder på de översta våningarna i kvarter 13 och 14.

#### 4.3.3 Miljöcertifiering

I förhållande till motsvarande byggnation strikt enligt BBR 19 bidrar en certifiering enligt de olika miljöklassningarna till en besparing av växthusgasemissioner p.g.a. en minskning av energianvändningen. Bebyggelsen i referensalternativet är planerad att certifieras enligt Miljöbyggnad SILVER, och i Tabell 14 presenteras en jämförelse med fallen i vilka byggnaderna certifieras enligt Miljöbyggnad GULD respektive inte certifieras alls.

**Tabell 14.** Jämförelse av klimatbesparing till följd av olika miljöklassning av byggnader i Albano.

Miljöklassning	Klimatbesparing	
	ton CO <sub>2</sub> e/år	%
Ingen miljöklassning (byggnation enligt BBR19)	-255 <sup>1</sup>	-10,2 <sup>1</sup>
<b>Miljöbyggnad SILVER (Referensalternativ )</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Miljöbyggnad GULD	103	4,1

<sup>1</sup> Negativ klimatbesparing innebär en klimatbelastning

## 4.4 Lokal produktion och klimatpåverkan

En lokal förnybar produktion av el och värme i området sänker det totala behovet av köpt energi utifrån, och därmed minskar den sammanlagda klimatpåverkan. Energiomvandlande installationer, som solceller, värmepumpar m.m., ger dock själva upphov till utsläpp av *embodied carbon* under sin livscykel. Hänsyn tas till detta i beräkningarna genom att dessa emissioner slås ut över installationernas livslängd.

Inledningsvis presenteras den sammanlagda klimatpåverkan för området, om dess energisystem utformas enligt detaljplaneförslaget två alternativ, se Figur 4. Därefter undersöks den specifika klimatnyttan som kan uppnås med installation av solceller/solfångare samt biobränslepannor. Vindkraft anses inte kunna implementeras i den aktuella modellen, då bebyggelsen förväntas vara tät och vindförhållanden därmed inte tillräckligt bra. Ett tillstånd för vindkraft i någorlunda stor skala skulle dessutom förmodligen inte kunna erhållas p.g.a. inverkan på det omgivande natur- och kulturlandskapet och närhet till bebyggelse.

### 4.4.1 Energiförsörjning enligt detaljplaneförslaget

I detaljplaneförslaget för nya Albano finns en översiktlig beskrivning av hur värme- och elförsörjningen i området är tänkt att utformas. Till skillnad från referensalternativet i avsnitt 4.3, i vilket uppvärmningen är tänkt att ske med fjärrvärme, förespråkar detaljplaneförslaget lokal produktion av värme. Bergvärmepumpar ska tillgodose behovet av energi för uppvärmning och varmvatten till 95 % på årsbasis. Resterande energiförbrukning, främst förknippad med höga topplaster, ska täckas med hjälp av el eller fjärrvärme. Solfångare och solceller föreslås också för installation i mindre utsträckning. Dessa kommer att täcka en del av varmvatten- och elbehovet, främst under sommarhalvåret. Sammanställning av energisystemets utformning och de tillförda mängderna framgår av Tabell 15.

**Tabell 15.** Sammanställning av klimatpåverkan från energisystemet i Albano enligt detaljplaneförslaget. Två alternativ för spetsvärmeförsörjning (med el och fjärrvärme) har undersökts.

Energiinstallation	Energi	Embodied carbon	Operational carbon	Kommentar
	MWh/år	ton CO <sub>2</sub> e	ton CO <sub>2</sub> e/år	
<b>Värmetillförsel</b>				
Bergvärmepumpar	8 761	1 607		
Solfångare	203	71		400 m <sup>2</sup> planglasade solfångare för flerbostadshus
<i>Alt.1: spets via fjärrvärme</i>	258		21,6	Baserat på emissionsfaktorn för fjärrvärme i Stockholm enligt Tabell 2
<i>Alt.2: spets via grön el</i>	258		0,82	Baserat på emissionsfaktorn för förnybara bränslen enligt Tabell 1
<b>Eltilförsel</b>				
Solceller	248	408		1 750 m <sup>2</sup> (10 % av all lämplig takyta) polykristallina kiselceller
El till värmepumpar och solfångare	2 536		266	El för drift av värmepumpar och solfångare, utifrån emissionsfaktorn för nordisk medel
Övrig el <sup>1</sup>	16 172		1 698	Baserat på emissionsfaktorn för nordisk medel
<b>Totalt alt.1<sup>2</sup></b>		<b>2 090 ton CO<sub>2</sub>e/år</b>		
<b>Totalt alt.2<sup>2</sup></b>		<b>2 069 ton CO<sub>2</sub>e/år</b>		

<sup>1</sup> Med övrig el avses hushålls-, verksamhets- och fastighetsel

<sup>2</sup> Inkl. embodied carbon fördelat på livslängden 20 år för samtliga installationer samt operational carbon

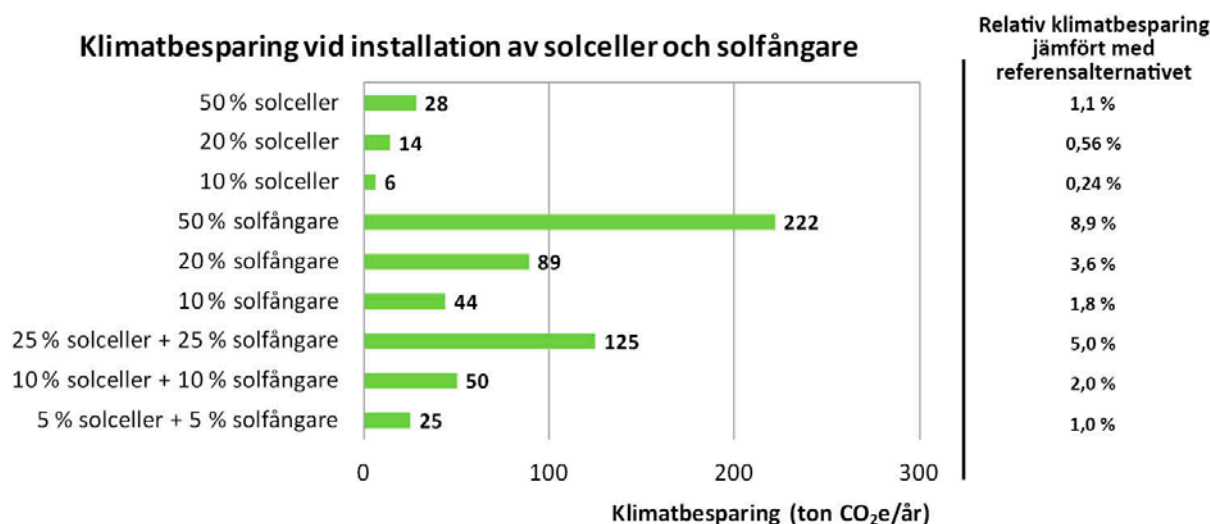
Det förväntas också finnas ett kylbehov i nya Albano, främst i de universitetslokaler som kommer att byggas. Det finns dock ingen möjlighet att lägga till egenskaper för kylproducerande installationer i *Knowledge Base*, och denna del ingår därmed inte i beräkningen av klimatpåverkan. De borrhål som används för upptag av bergvärme under uppvärmningssäsongen kan användas omvänt under sommarperioden – värmen leds ner i borrhålet istället för att tas ut. På så sätt laddas borrhålet med värme och presterar mer effektivt under vintern.

#### 4.4.2 Solceller och solfångare på hustak

Solceller och solfångare, samt kombinationer av dessa på de nya byggnadernas tak möjliggör en lokal produktion av el och värme. Den totala takytan i nya Albano uppgår till ca 32 000 m<sup>2</sup>, varav 17 500 m<sup>2</sup> bedöms vara lämpliga för placering av installationerna, då vissa tak skymms i söderriktning av överhängande terrasser och övriga, högre byggnader. Polykristallina kiselceller respektive planglasade solfångare för flerbostadshus från *Knowledge Base* monteras på ställningar med 45° lutning mot takplanet och vända åt söder. I och med detta bedöms inte den sammanlagda arean för de tänkta gröna takytorna i Albano påverkas i någon större utsträckning.



Klimatbesparingen till följd av minskningen av behovet av köpt el/värme presenteras i Figur 8 för de olika kombinationerna. Besparingen avser minskade koldioxidutsläpp när solenergiomvandlande installationer placeras inom referensalternativets energisystem enligt avsnitt 4.3.1. I beräkningen har *embodied carbon* för solceller och solfångare inkluderats fördelat på livslängden 20 år för båda installationstyperna.

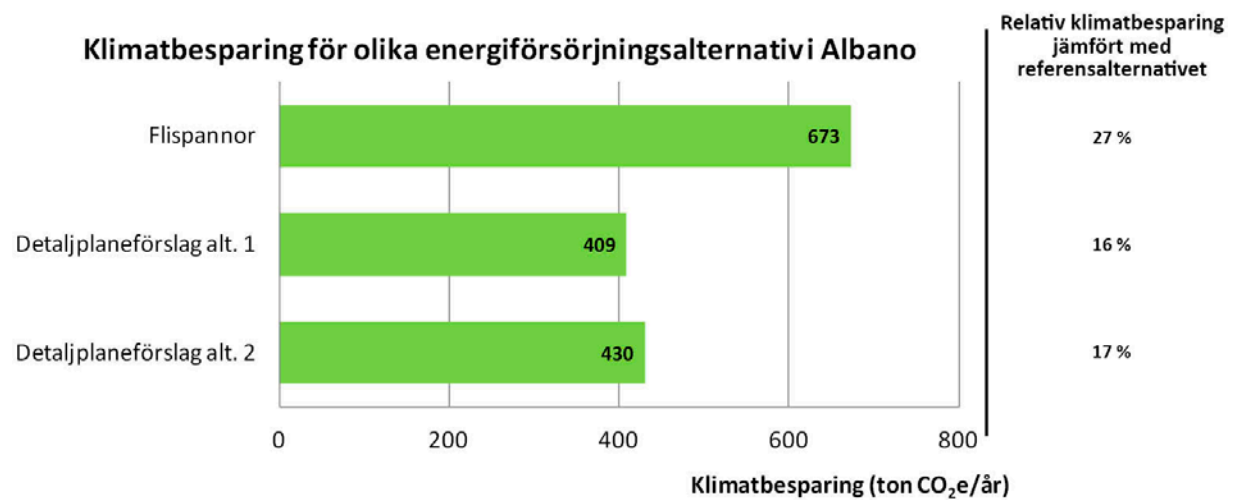


**Figur 8.** Klimatnytta vid installation av solceller, solfångare samt kombinationer mellan dessa, för olika andel takyta som täcks av respektive typ. Värden till höger anger den relativa klimatbesparingen av åtgärden i förhållande till referensalternativet (avsnitt 4.3.1). Eltillsatsen för drift av solfångare är inkluderad i beräkningen.

#### 4.4.3 Värmetillförsel i biobränslepanna

Ett alternativ till värmeförsörjningen av Albano kan utgöras av en biobränsle driven närvärmeanläggning som kan tillgodose områdets behov av värme och tappvarmvatten och utgöra ett klimatvänligt alternativ.

En flispanna med storleken 1 MW från *Knowledge Base* kan förväntas ha en årlig produktion på ca 2,1 GWh, vilket utgör 23 % av områdets behov av värme och varmvatten. Fem sådana pannor antas därför kunna installeras i området. Figur 9 visar klimatpåverkan för de båda alternativen beskrivna av detaljplaneförslaget samt fallet då flispannor implementeras i referensalternativets energisystem (avsnitt 4.3.1). Klimatbesparingen anges i samtliga fall i förhållande till referensalternativet. I beräkningen är hänsyn tagen till klimatpåverkan som uppstår till följd av produktion och transport av biobränslen.



**Figur 9.** Jämförelse av klimatpåverkan för olika uppvärmningsalternativ i Albano jämfört med referensalternativet. *Embodied carbon* för energiinstallationer har tagits med i beräkningen i samtliga fall, baserat på livslängden 20 år.

## 5 Diskussion

Vid utformning av detaljplaner presenteras endast översiktliga idéer kring utformningen av systemen som ska förse området med värme och el. Det är därför intressant att på detta stadium undersöka de olika möjligheterna utifrån flera aspekter, varav klimatpåverkan är den centrala inom ramarna för detta projekt.

Det står klart att energieffektiva hus förbrukar mindre el och värme, vilket också minskar klimatavtrycket. Albano är tänkt att byggas enligt miljöcertifieringssystemet Miljöbyggnad och uppnå lägst betyget SILVER. Detta medför en avsevärd minskning av energiförbrukningen jämfört med de krav som Boverket sätter. Det ska dock poängteras att det endast är energin för uppvärmningsändamål och tappvarmvatten samt el i form av fastighetsenergi som kraven gäller. Förbrukningen av hushålls- respektive verksamhetsel står för majoriteten av den uppkomna klimatpåverkan till följd av verksamheten i bebyggelsen, vilket Tabell 13 också visar. Det räcker således inte att bygga energisnåla hus, utan hyresgäster måste uppmanas till framför allt en effektiv elanvändning, genom t.ex. informationskampanjer och olika incitament.

Installationer för förnybar energi finns numera i anslutning till näst intill varje nybyggnation. Solceller och solfångare finns på allt fler tak och fasader i alla typer av byggnader. Vid beräkning av den totala klimatpåverkan ur livscykelperspektiv måste hänsyn också tas till deras *embodied carbon*, vilket innefattar utsläppen som uppkommer till följd av produktion av anläggningarna, transporter till byggplatsen, underhåll osv. Till följd av detta blir t.ex. klimatnyttan från installationen av solceller klart mindre än motsvarande siffran för solfångare. Eftersom *embodied carbon* finns med i beräkningen för de förnybara energikällorna, men inte för basfallet med t.ex. fjärrvärme och nordisk medel, blir resultaten inte helt rättvisa. Emissioner från uppbyggnaden av storskaliga elproducerande anläggningar kan näst intill försummas, då dessa under sin livstid producerar mycket mer el än vad nybyggnationen i Albano förbrukar. Utslaget per kWh blir klimatpåverkan således väldigt liten. Nedgrävning av kablar för elöverföring, nödvändig elektronisk utrustning mm medför visserligen en viss klimatpåverkan, men denna blir närmast identisk oavsett vilket alternativ som undersöks, då området måste kopplas ihop med det omgivande elnätet i samtliga fall. För fjärrvärme ser situationen något annorlunda ut. För själva produktionsanläggningarna kan samma resonemang som för el tillämpas. De ledningar till området som läggs i marken ger dock upphov till växthusgasutsläpp, då transport av dessa samt allt grävarbete utförs med fossilbränsleddrivna arbetsmaskiner. Dessa behövs dock endast om referensalternativet är aktuellt. Detaljplaneförslagets alternativ 1 (spetsförsörjning med fjärrvärme) förefaller märkligt, då fjärrvärme normalt inte anläggs enbart för spetsändamål p.g.a. de höga kostnaderna och intrånget i landskapet som det orsakar.

I detta projekt kan de mest intressanta slutsatserna dras från inbördes jämförelse av olika lokalt placerade förnybara alternativ för energiförsörjning, vilket också är målet med *Carbon Critical Design*-verktygen.

Flera felkällor finns i beräkningarna – distributions- och omvandlingsförluster är exempelvis inte inkluderade. Hänsyn tas endast till den från anläggningen levererade energin. Förluster i överföringen av både el och värme innebär att fler kWh av båda energibärarna behöver

produceras vid anläggningarna, såväl lokala som storskaliga, för att kunna tillgodose behovet i byggnaderna. Därmed ökar också de totala utsläppen, både *operational carbon* (p.g.a. större bränslebehov) och på sikt också *embodied carbon*, då fler eller större anläggningar behövs för att möta behovet. Omvandlingsförluster är medräknade för t.ex. biobränslepannor, i och med att en verkningsgrad anges. Detsamma gäller indirekt för solceller, solfångare och vindkraftverk, där ”bränslet” utgörs av de förnybara resurserna – solinstrålningen och vinden. Fjärrvärme behöver däremot värmeväxlas i anslutning till byggnaderna, och en viss förlust finns i detta steg.

Resultaten som kan erhållas genom användningen av verktygen är också något missvisande när det gäller förnybar el- och värmeproduktion. Ett område kan verka ge upphov till väldigt låga emissioner, eller till och med vara en ”klimatsänka” om mängden el/värme som produceras lokalt överstiger behovet på årsbasis och matas ut på nätet<sup>7</sup>. Effekttopparna kan emellertid inte alltid täckas av lokalproduktion, speciellt när det gäller el. Energin måste då tas in utifrån, och ofta sker omvandlingen med en insats av fossila energislager i bränslemixen. Värme kan däremot lagras en viss period i t.ex. tankar eller bergrum, vilket kan jämna ut vissa toppar i importbehovet.

*Ecoinvent* har använts i stor utsträckning som källa till livscykelanalyserna av energislagen. Dess studier bygger främst på data från specifika anläggningar med bestämd storlek och effekt, och klimatpåverkan anges också per anläggning som funktionell enhet. I flera fall har den funktionella enheten ändrats för att passa in för implementering i *Knowledge Base*. I allmänhet kan inte förhållanden i Schweiz, för vilka *ecoinvent* anger sina värden i de flesta fallen, förväntas vara helt lika de svenska. I brist på andra källor har detta dock accepterats, men bör hållas i åtanke. Många av studierna är också över 10 år gamla, och en viss utveckling av exempelvis tillverkningsteknologierna kan tänkas ha ägt rum sedan dess.

Samtliga resultat bygger på *Knowledge Base* och *Masterplanning tool* så som de ser ut idag. Många förenklingar och antaganden har gjorts för att verkliga energinstallationer ska passa in i strukturen, vilket i vissa fall har påverkat graden av datasäkerhet. Innan verktygen kan användas till verklig energiplanering, måste databasen utvecklas – förslag på detta finns i kapitel 6.

---

<sup>7</sup> Förutsatt att den totala emissionsfaktorn (både *embodied* och *operational carbon*) för el resp. värme som importeras till området är högre än motsvarande för lokal produktion

## 5.1 Datasäkerhet

Inmatning av specifika värden på olika parametrar i *Knowledge Base* utifrån svenska förhållanden har varit en komplicerad uppgift. Många av de bakomliggande vetenskapliga studierna är utförda i andra länder utifrån andra förutsättningar än de svenska. Ett antal antaganden har därför behövt göras. I Tabell 16 sammanställs de olika parameterkategorierna i *Knowledge Base*, tillsammans med den genomsnittliga graden av datasäkerhet som bedöms gälla de inmatade värden. I kommentarfältet anges en kort motivering till graderingen.

**Tabell 16.** Parameterkategorier i *Knowledge Base* och den bedömda graden av datasäkerhet vid framtagandet av värden på parametrar. +++ = god, ++ = medel, + = dålig. Den första kolumnen hänvisar till avsnitt i denna rapport.

Avsnitt	Kategori	Bedömd grad av datasäkerhet	Kommentar
<b>2.4</b>	<b>Land och region</b>		
2.4.1	Emissionsfaktor el	+++	Baserad på bränslesammansättning och uppmätta utsläppsfaktorer vid omvandling till el
2.4.2	Emissionsfaktor värme	++	Baserad på officiell utsläppsstatistik vid omvandling till fjärrvärme, samt antaganden om bränslesammansättning inom övriga uppvärmningssätt
2.4.3	Solinstrålning	+++	Baserad på meteorologiska undersökningar och visuella observationer
2.4.5	Byggstandarder	+++	Angivna utifrån manualer för miljöklassningar av byggnader
<b>2.5</b>	<b>Byggnadstyper</b>		
2.5.1	Energianvändning i byggnader	+++	Baserad på statistiska undersökningar, med ett fåtal antaganden
<b>2.4.4</b>	<b>Vindregion</b>		
2.4.4	Utnyttjandegrad för vindkraftverk	++	Baserad på vindteori och mätningar för specifika turbintyper i specifika förhållanden
<b>2.6</b>	<b>Förnybara energikällor</b>		
2.6.1	Solcellssystem	+++	Specifika typer av solcellssystem från ecoinvent
2.6.2	Solfångarsystem	+++	Specifika typer av solfångarsystem från ecoinvent
2.6.3	Värmepumpar	+++	Specifika typer av värmepumpar från ecoinvent, samt tester genomförda av Energimyndigheten
2.4.6/ 2.6.3	Utnyttjandegrad för värmepumpar	+	Antagande utifrån driftfallsexempel för en bergvärmepump
2.6.4	Vindkraftverk	+++	Specifika typer av vindkraftverk från ecoinvent
2.6.5	Biomassaeldade system	+++	Specifika typer och storlekar på förbränningsanläggningar från ecoinvent
2.6.5	Värmevärden för bränsletyper	+++	Baserade på laboratorieprover och branschens riktvärden

## 5.2 Känslighetsanalys

Känslighetsanalys är ett sätt att bedöma hur mycket osäkerheten hos inparametrar till en beräkning påverkar slutresultatet. Nedan presenteras ett antal analyser av olika sort, med en diskussion kring deras inverkan.

### 5.2.1 Synsätt på klimatpåverkan från elgenerering

All klimatpåverkan som beräknas i *Masterplanning tool* och är förknippad med energianvändning och energiomvandling beror på vilka värden emissionsfaktorerna för el och värme tilldelas. Därmed har en eventuell osäkerhet i dessa en stor inverkan på slutresultatet.

Bedömning av klimatpåverkan från elanvändning är en komplicerad uppgift. Hänsyn måste inte bara tas till den faktiska produktionsmixen, utan också till var elen är producerad, och i vilket sammanhang den förväntas användas. Det finns ett antal betraktningssätt för detta, av vilka följande tas upp:

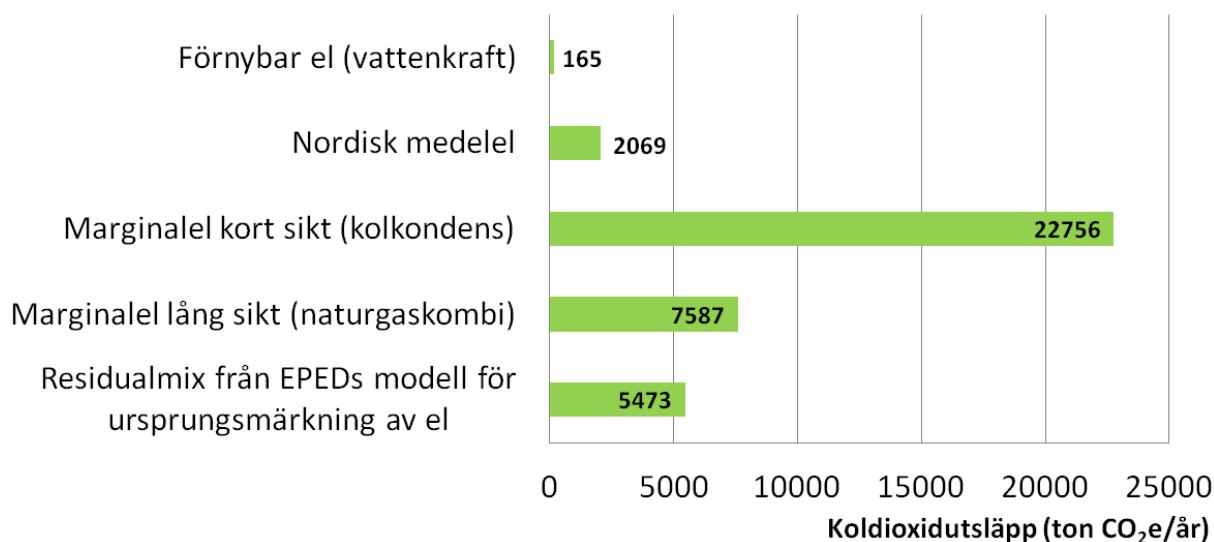
- förnybar el (vattenkraftproducerad, se Tabell 1)
- nordisk medelel (se avsnitt 2.4.1)
- marginalet – kolkondenskraft på kort sikt och naturgaskombikraft på lång sikt (Gode et al., 2009)
- residualmix – bränslemixen för produktion av den el som inte säljs som ursprungsmärkt<sup>8</sup> (Svensk Energi, 2011).

Beroende på vilket perspektiv som väljs för beräkningar, kommer emissionsfaktorn att variera, och påverka resultatet i stor utsträckning. I Figur 10 presenteras en jämförelse mellan ovan nämnda alternativen.

---

<sup>8</sup> Ursprungsmärkning av el är ett krav enligt EU:s elmarknadsdirektiv (2009/72/EG) som förbinder elhandlaren att redovisa elens ursprung och miljöpåverkan. Detta kan göras med olika metoder, exempelvis genom energistatistik eller kontraktbaserade spåringsmekanismer. Den gällande modellen för beräkning av residualmix är framtagen av EPED/RE-DISS och underlaget tillhandahålls av dess samtliga medlemsländer (Energimarknadsinspektionen, 2011)

## Klimatpåverkan för nya Albano ur olika synsätt på el



**Figur 10.** Klimatpåverkan för nybyggnation i Albano, en jämförelse mellan olika synsätt på el. Resultaten är beräknade utifrån detaljplaneprogrammets förslag på energisystemets utseende. Både embodied carbon och operational carbon är inkluderade.

Om marginalet väljs som bedömningssätt, blir växthusgasutsläppen till följd av nybyggnation i Albano avsevärt större än med nordisk medelel – värdet som använts i denna rapport. Förnybar el, dvs. el som har ursprungsmärkts med produktion från förnybara energikällor eller t.ex. Bra Miljöval, ger istället upphov till väldigt låga utsläpp. Nordisk medelel ligger mellan dessa extremvärden.

I och med att nya byggnader förväntas ha en lång livslängd, kan ett synsätt på elproduktion som marginalet på kort sikt vara orättvist. Istället kan *komplex marginalet* vara ett bedömningssätt (Gode et al., 2009). Denna består förutom den kortsiktiga driftsmarginalen också av den s.k. *utbyggnadsmarginalen*, vilken beräknas utifrån graden av investeringar i elsystemet till följd av förändringar i elanvändningen. Det krävs avancerade modeller för att beräkna klimatpåverkan från generering av den komplexa marginalet, men resultaten pekar på en bränslemix bestående av naturgas och vindkraft på lång sikt. De utsläpp som genereras i detta fall kan förväntas ligga i närheten eller något högre än för nordisk medelel, men ändå klart lägre än för den kortsiktiga marginalet från kolkondenskraft.

De energislag som förväntas användas för elproduktion i framtiden är också en starkt bidragande faktor. Utbyggnaden av vindkraft enligt de nationella målen är ett exempel, ökade förutsättningar till lönsam småskalig elproduktion är ett annat. En utveckling av tekniker för insamling av utsläppt koldioxid i anslutning till koleldade kraftverk, s.k. *Carbon Capture and Storage* (CCS) kan också på sikt ha inverkan på den genomsnittliga emissionsfaktorn för el.

En annan diskussionspunkt för huruvida marginalet är relevant att användas i just detta projekt, i fallet med Albano, är användningsområdet för den nya bebyggelsen. Nya Albano kommer inte rymma någon ny verksamhet, utan verksamheten (undervisningen, forskningen

samt de boende) kommer att flytta från andra, äldre lokaler. I och med detta uppstår inget nytt energibehov, utan energisnåla apparater och nya byggnadstekniska installationer kan tvärtom ge upphov till en sänkning av energiförbrukningen totalt sett. Ställning bör därmed tas till förändringar i verksamheten i flera led och inte enbart direkt för Albanoområdet.

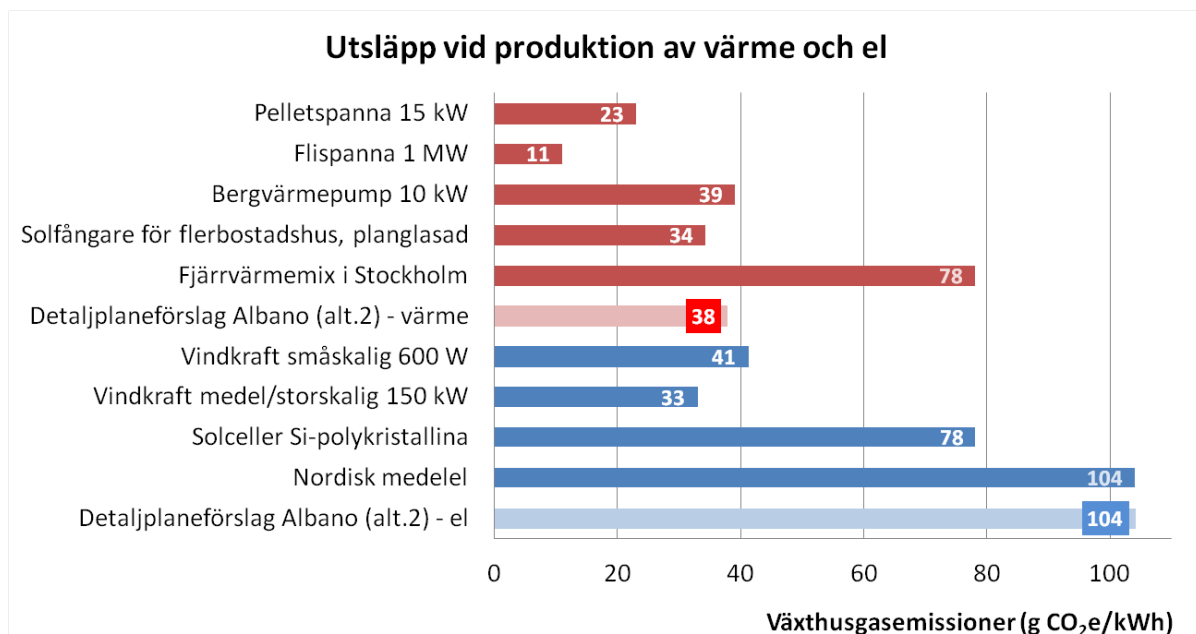
Även klimatpåverkan från generering av fjärrvärme påverkas av synsättet på el, då bränslemixen i Stockholm innehåller en del el till värmepumpsdrift samt som spets i hetvattenpannor. Sammanlagt produceras dock mer el i länets kraftvärmeanläggningar än vad som sätts in (Svensk Fjärrvärme, 2010), så ingen känslighetsanalys görs för detta fall.

### **5.2.2 Förnybar el- och värmeproduktion**

De värden för *embodied carbon* som angetts för de olika förnybara energikällorna i avsnitten 2.6.1-2.6.5 har i de flesta fall hämtats från LCA-databasen *ecoinvent*. I *Masterplanning tool* ersätter lokal produktion av el och värme från dessa energislag motsvarande energimängder som annars skulle tillförts från utanför områdets systemgränser. I de fall där inga förnybara energiinstallationer finns, beräknas klimatpåverkan utifrån de emissionsfaktorer som angetts i avsnitten 2.4.1 och 2.4.2.

Det kan vara intressant ur datasäkerhetssynpunkt att redovisa de utsläpp som uppstår till följd av generering av 1 kWh el resp. värme med varje energislag, för att bedöma var osäkerheten kan ha störst påverkan på resultatet. Jämförelsen för några utvalda energiinstallationer redovisas i Figur 11. I beräkningar har *embodied carbon* för installationerna tagits med, räknat på 20 års livslängd i samtliga fall. För värmepumpen ingår även klimatbelastningen från den tillförda elen (nordisk medel), och för de båda biobränslepannorna är klimatpåverkan från distribution och produktion av bränslet inkluderad utifrån värden från Gode et al. (2011).





**Figur 11.** Klimatpåverkan från elproduktion (blått) och värmeproduktion (rött) från förnybara energikällor. Som jämförelse har motsvarande värden för el- och värmemixen lagts in, tillsammans med utsläppen till följd av el- och värmegenerering för detaljplaneförslaget för nya Albano (alt.2 med tillförsel av grön el som spets).

Ur klimatpåverkanssynpunkt per kWh energibärare kan de lägsta värdena för värme och el erhållas från biobränsleanläggningar och solfångare resp. storskalig vindkraft. Det ska dock poängteras att olika energislag fyller olika funktion i energisystemet, exempelvis kan inte en flispanna till fullo ersättas av solfångare för värmeförsörjning av ett område under ett år. Dessutom kan inte lika mängder elektrisk och termisk energi jämföras rakt av, utan energikvaliteten – exergin – blir en viktig faktor. Elektricitet har betydligt högre exergiinnehåll än värme och kan förenklat sägas kunna utföra mer nyttigt arbete med samma energiinsats.

### 5.2.3 Övriga parametrar

Denna del av känslighetsanalysen hanterar osäkerheter i övriga parametrar som kan ha en inverkan på de sammanlagda växthusgasemissionerna i Albano. Jämförelsen görs utifrån referensfallet för Albano (avsnitt 4.3.1), dvs. utan några förnybara installationer. Resultaten presenteras i Figur 12, och motiveringen anges nedan under respektive rubrik.

### *Areabegrepp*

Som det nämnts i avsnitt 2.5.1, hanteras byggnaders areor i *Masterplanning tool* med hjälp av begreppet BTA, medan statistik för energianvändningen och andra parametrar anges oftast per m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub>. Detta kan kringgås genom att en omvandlingsfaktor mellan dessa areabegrepp införs, och Boverket rekommenderar att följande används:

$$A_{temp} = 0,9 \cdot BTA \quad (8)$$

Denna faktor har tagits fram genom mätningar av båda areor enligt deras definitioner i ett urval av byggnader. Därmed kan en minskning av den totala arean i *Masterplanning tool* med mellan 0-20 % representera den angivna omvandlingsfaktorn.

### *Ändrad elmix*

Den angivna klimatpåverkan från elgenerering (nordisk medel) är beroende av den bränslemix som används under en tidsperiod, se t.ex. Tabell 1. Den använda bränslemixen beror i sin tur på balansen mellan elbehovet och produktionen, vilka kan variera beroende på väder, ekonomiskt läge, politiska beslut mm. En variation av utsläppen per kWh producerad el kan tänkas spegla detta. Förändringar i generella synsätt på elens klimatpåverkan tas upp i avsnitt 5.2.1.

### *Ändrad fjärrvärmemix*

Även bränslemixen för fjärrvärme kan förändras utifrån liknande resonemang som för el, och därmed påverka emissionsfaktorn. I Figur 12 presenteras två analyser:

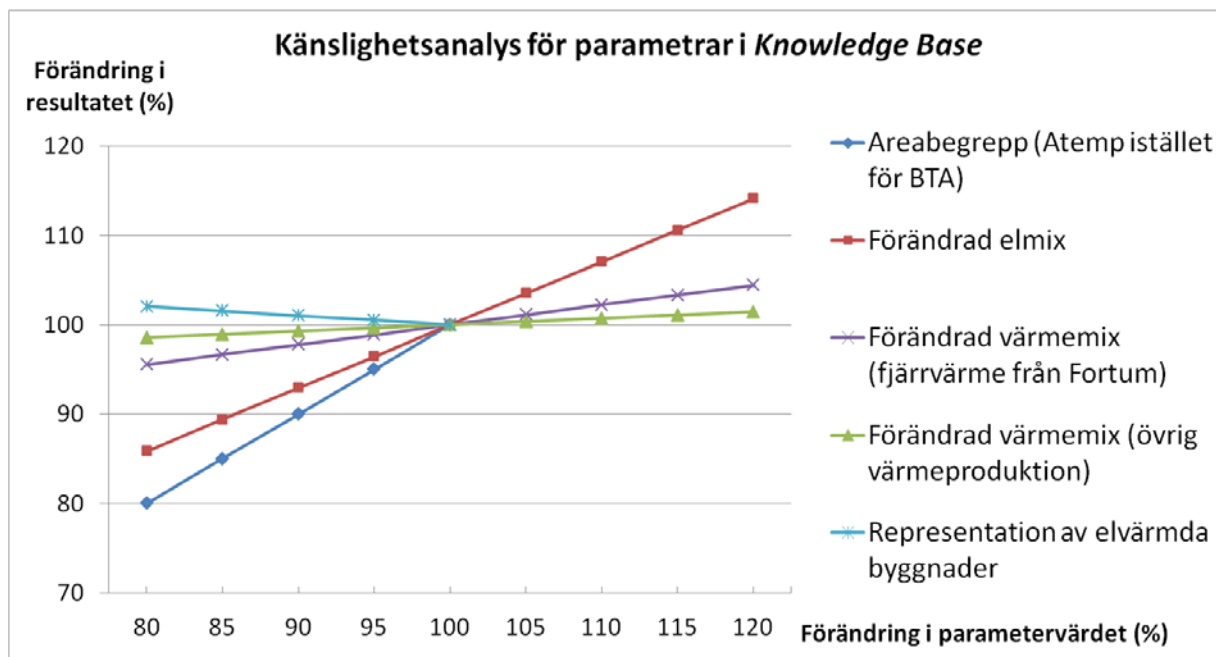
- förändrad emissionsfaktor för värmen som produceras i Fortums fjärrvärmenät
- förändrad emissionsfaktor för värmen som inte produceras i fjärrvärmeanläggningar, i ursprungliga beräkningar antogs denna värme genereras från vardera hälften el och pellets

Känslighetsanalysen för fjärrvärmemixen speglar endast de variationer som beror på faktiska osäkerheter och förändringar i bränslemixen. Liksom för el (se avsnitt 5.2.1) kan den beräknade klimatpåverkan från fjärrvärmegenerering variera stort, beroende på om medel- eller marginalbränslemixen används som betraktningssätt. Marginalfjärrvärmen kan exempelvis förväntas att i högre skala genereras via förbränning av eldningsolja, jämfört med oljans totala andel i den genomsnittliga bränslemixen, med högre klimatpåverkan per producerad kWh värme som följd.

### *Elvärmda byggnader*

I *Knowledge Base* har inga separata byggnadstyper skapats för elvärmda byggnader, utan dessa har antagits förbruka samma mängd el och värme som icke-elvärmda. För att kunna representera elvärmda byggnader, kan det genomsnittliga behovet av köpt värme för respektive byggnadstyp minskas med en procentsats, samtidigt som mängden köpt el ökas med motsvarande mängd energi. Detta får följden att den totala klimatpåverkan blir högre, då el i *Knowledge Base* har en högre emissionsfaktor än värme. Det ska dock noteras att ett

sådant tillvägagångssätt är en förenkling, i och med att energibärarnas exergi (se avsnitt 5.2.2) samt förluster i överföringen inte är inkluderade i beräkningen.



**Figur 12.** Känslighetsanalys för ett antal insatta parametrar i *Knowledge Base*. Jämförelsen görs utifrån referensalternativet för bebyggelsen i Albano. Resultatet redovisas som en procentuell förändring i de totala växthusgasutsläppen till följd av el- och värmeanvändningen. Observera bruten skala.

*Masterplanning tool* grundar alla klimatpåverkanberäkningar på ett antal nyckelparametrar, som exempelvis uppbyggd area och emissionsfaktorer för el respektive värme. En variation av dessa värden har därmed också en stor inverkan på det sammanlagda resultatet, och ett säkerställande av datakvaliteten blir en viktig fråga. Detta framgår av Figur 12, där lutningen på kurvor som representerar ändrade areor respektive elmix är som störst.

I detta projekt, där en uppsättning av data har skapats för förhållanden i Sverige och specifikt Stockholm, har insamlad statistik varit den dominerande informationskällan. En del av denna har hämtats från statliga myndigheter som Energimyndigheten och SCB. Värden för t.ex. bränslemixen för el- och fjärrvärmeproduktion kommer från branschorganisationer och de faktiska producenterna. De intressen som finns hos respektive uppgiftslämnare kan därmed påverka datakvaliteten, i och med att transparens oftast saknas i de publicerade värdena.

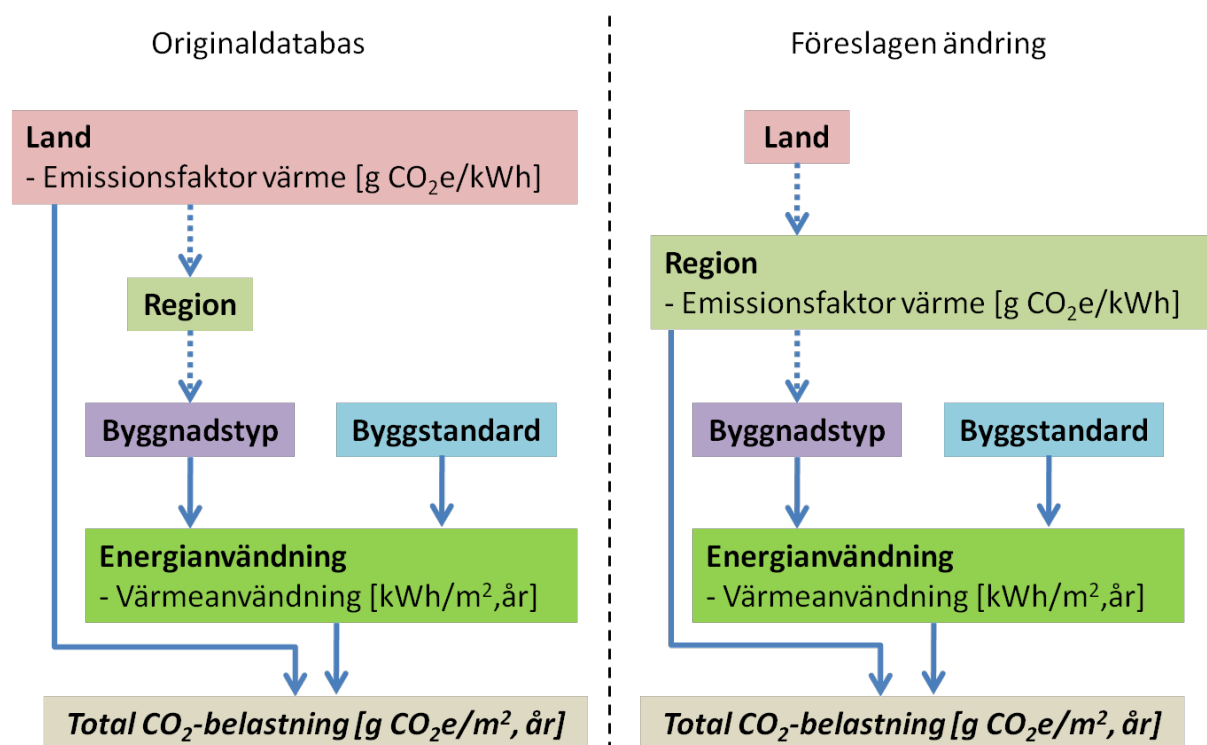
## 6 Utveckling av Knowledge Base-struktur

Den befintliga databasstrukturen i *Knowledge Base* och med den ihopkopplade *Masterplanning tool* har inte förändrats sedan lanseringen år 2010. Det finns ett antal parametrar som är reserverade för framtida användning vid en utbyggnad av databasen, men dessa utgör snarare en fördjupning i den befintliga strukturen. För att *Knowledge Base* ska kunna bli mera komplett och användbar för modellering av det lokala energisystemet, krävs ett antal förändringar på olika nivåer. Databasen förväntas också vara användbar globalt under förutsättning att regionsspecifika värden på relevanta parametrar skapas, som i detta projekt. Själva strukturen är dock inte till fullo lämpad för detta, utan speglar snarare behoven som finns i Storbritannien, där databasen är skapad.

Förändringarna, stora som små, föreslås under separata rubriker nedan, med en schematisk visualisering av nuläget och den föreslagna ändringen samt motiveringen till denna.

## 6.1 Emissionsfaktor för värmeproduktion

I den ursprungliga databasstrukturen tilldelas ett och samma utsläppsvärde för värmeproduktion till hela landet. För mindre länder, med relativt likartad klimat, jämn bebyggelsenivå och en homogen uppsättning av värmeproducerande anläggningar, skulle en sådan lösning kunna vara acceptabel. I Sverige varierar produktionssättet stort, beroende på om området ligger i en tätbebyggd region eller inte. I storstäder, med Stockholm i spetsen, är bebyggelsen tät och många hushåll är anslutna till fjärrvärmenätet. Fjärrvärmen i sig produceras på olika sätt beroende främst på bränsletillgången och pannbeståndet. På många håll i Sverige sker en omställning från olje- och koleldade värmeverk till biobränsleeldade motsvarigheter, vilket sänker den totala emissionsfaktorn. I glesa områden, byar och småstäder försörjs husen i stor utsträckning av egna pannor (med bl.a. olja som bränsle) eller värmepumpar, samt i vissa fall av direktverkande el. Hänsyn måste tas till detta vid beräkning av emissionsfaktorn, som i det sistnämnda fallet kan förväntas bli högre. En förändring enligt Figur 13 föreslås därför för implementering i *Knowledge Base*.



**Figur 13.** Schematisk bild av den föreslagna åtgärden. Emissionsfaktorn för värmeproduktion blir en parameter under kategorin "Region" istället för "Land".

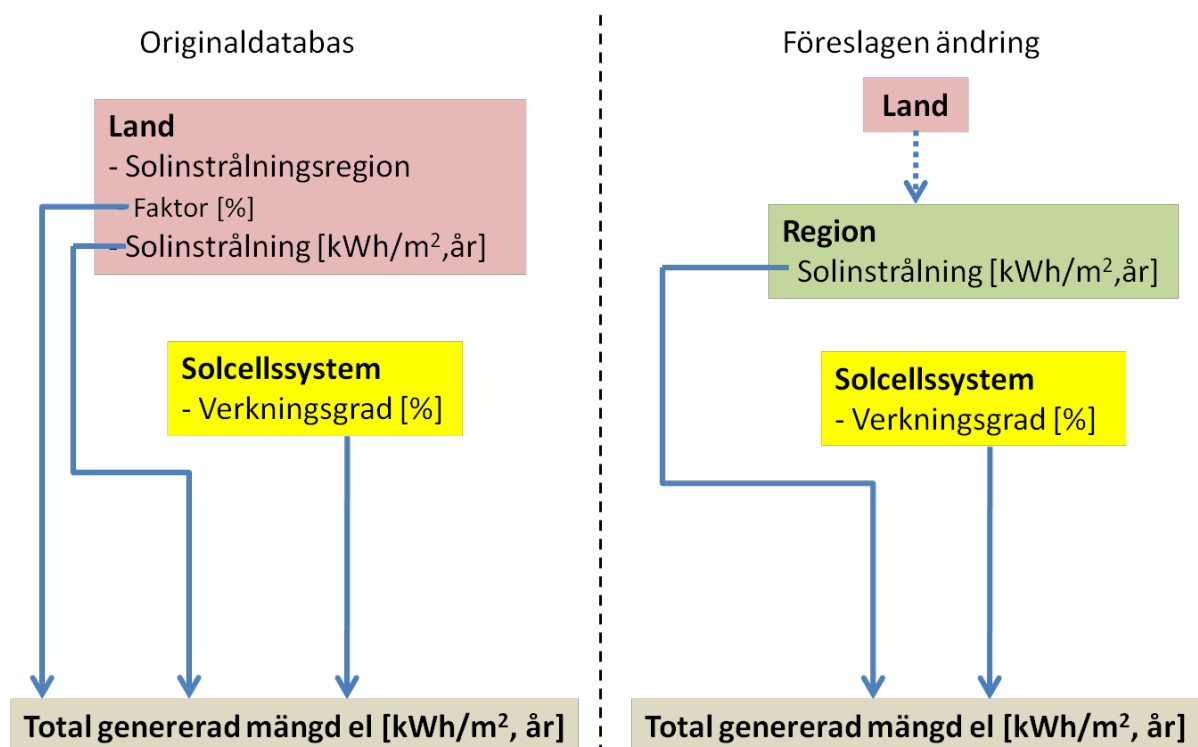
Istället för en viktad emissionsfaktor för värmeproduktion baserad på bränslemixen, skulle strukturen i *Knowledge Base* kunna modifieras så att utsläppsfaktorer kopplas till bränslen själva, på motsvarande sätt som för biobränslen i avsnitt 6.4. En procentuell uppdelning av bränslen i den totala mixen skulle kunna anges och emissionsfaktorn beräknas utifrån sammansättningen.

## 6.2 Solinstrålningsregion

I enlighet med vad som nämnts i avsnitt 2.4.3, är solinstrålningen en parameter i kategorin ”Land”, vilket gör att det för olika regioner måste användas en procentsats i förhållande till referensregionen för att karaktärisera solinstrålningen. En sådan lösning kan tänkas fungera för endast ett bestämt värde på instrålningen, t.ex. mot ett söderriktat tak med 30° lutning. Då kan ett referensvärde, exempelvis 1120 kWh/m<sup>2</sup>,år för Stockholm motsvara 100 % av solinstrålningen. Därmed utgör värdet för motsvarande läge i Göteborg (1060 kWh/m<sup>2</sup>,år) ca 95 %.

Problemet ligger istället i att en procentsats inte kan antas gälla för samtliga lutningar och riktningar samtidigt – solinstrålningen förändras inte linjärt. Dessutom finns ett antal andra faktorer som spelar in, exempelvis typiska väder- och molnförhållanden på den aktuella platsen vid olika tider på dygnet.

Den föreslagna förändringen i *Knowledge Base*, se Figur 14, är att parametern ”solinstrålningsregion” tas bort helt, och att solinstrålningen istället definieras för varje geografisk region för sig.



**Figur 14.** Schematisk bild av den föreslagna åtgärden. Solinstrålningsregion försvinner som parameter och ersätts av solinstrålningsdata för varje region för sig.

### 6.3 Utnyttjandegrad för värmepumpar

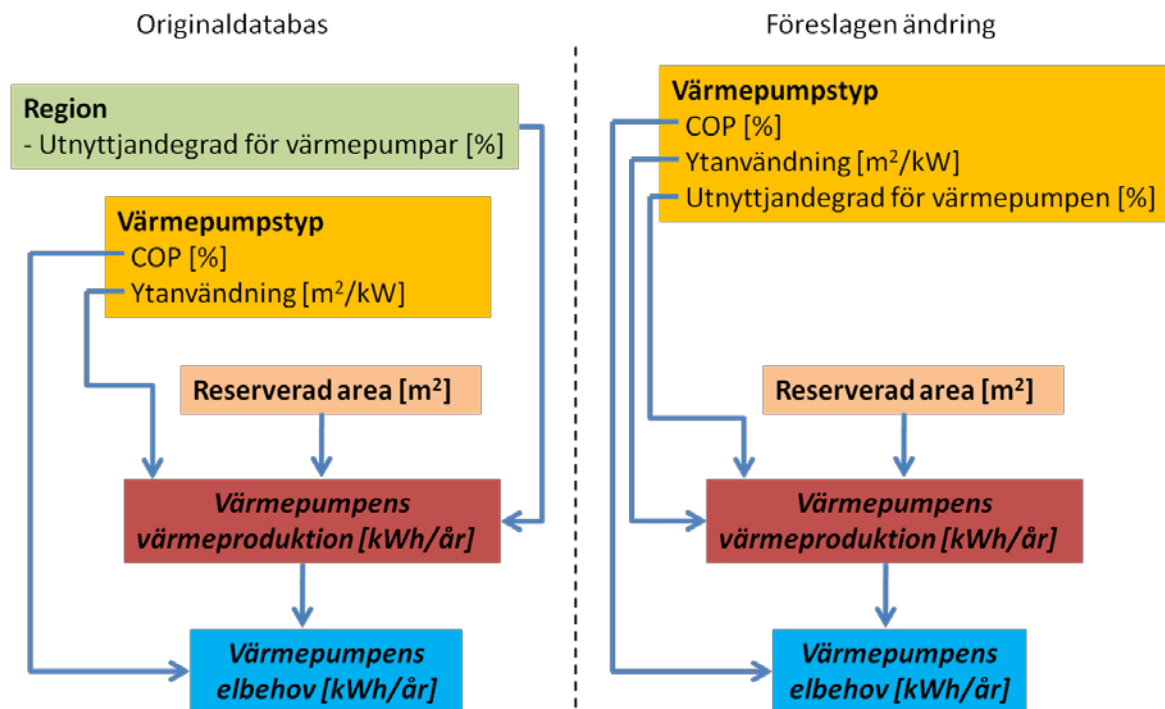
Som det nämnts i avsnitt 2.6.3, är utnyttjandegraden för värmepumpar en regionsspecifik parameter, och gäller således för samtliga värmepumpstyper som finns i *Knowledge Base*. Detta kan vara en god approximation för pumpar av samma typ och med samma effekt. Dessa kan då förväntas prestera ungefär lika i en jämförelse, och utnyttjandegraden kan antas vara densamma, dock skiljer naturligtvis pumpar från olika tillverkare sig från varandra i verkligheten.

För pumpar med olika värmekälla, t.ex. bergvärme, luftvärme och yjordvärme, kan inte samma utnyttjandegrad antas, inte ens om de placeras i anslutning till byggnader inom en och samma region. Detta beror på att olika medier (ex. vatten, luft och jord) har olika värmekapacitet ( $c_p$ ). Det innebär att en viss massa ( $m$ ) av mediet kan förflytta en viss bestämd mängd energi ( $Q$ ), dessutom beroende på temperaturskillnaden ( $\Delta T$ ) mellan källan och bäraren, enligt

$$Q = c_p m \Delta T \quad (9)$$

I och med att olika typer av värmepumpar arbetar med olika medier vid olika temperatur, varierar utnyttjandegraden om pumparna avses att leverera samma mängd energi för att tillgodose en byggnads värmebehov.

En ändring enligt Figur 15 föreslås, där utnyttjandegraden blir en parameter hos varje specifik värmepump, varpå en lämplig pump väljs för varje byggnadsobjekt i *Masterplanning tool*. Nackdelen med en sådan lösning blir att värmepump som energikälla upphör att vara regionneutral, utan en ny typ måste skapas för varje region, och utnyttjandegraden måste beräknas utifrån klimatet och uppskattade värmebehovet.



**Figur 15.** Schematisk bild av den föreslagna åtgärden. Utnyttjandegraden övergår från att vara parameter för en region till att bli en parameter hos värmepumpen.

Ett alternativ till en sådan lösning skulle kunna vara att varje värmepumpstyp, förutom att erhålla en egen utnyttjandegrad, också kunde definieras av den levererade effekten per  $\text{m}^2$  yta som den avser att värma upp. Vid prestandatester för specifika värmepumpar anges de förhållanden som pumpen testats under, dess effekt och den förväntade levererade energin under ett år. Testerna kan t.ex. avse värme- och varmvattenförsörjning av en villa med bestämd storlek. Därmed kan den specifika effekten,  $\text{W}/\text{m}^2$ , anges för varje pump. Den totala levererade värmen ( $E_{th}$ ) beräknas då enligt:

$$E_{th} = A_{res} C P t \quad (10)$$

där

$A_{res} [\text{m}^2]$  = den uppvärmda arean

$C [\%]$  = värmepumpens utnyttjandegrad

$P [\text{W}/\text{m}^2]$  = värmepumpens specifika effekt

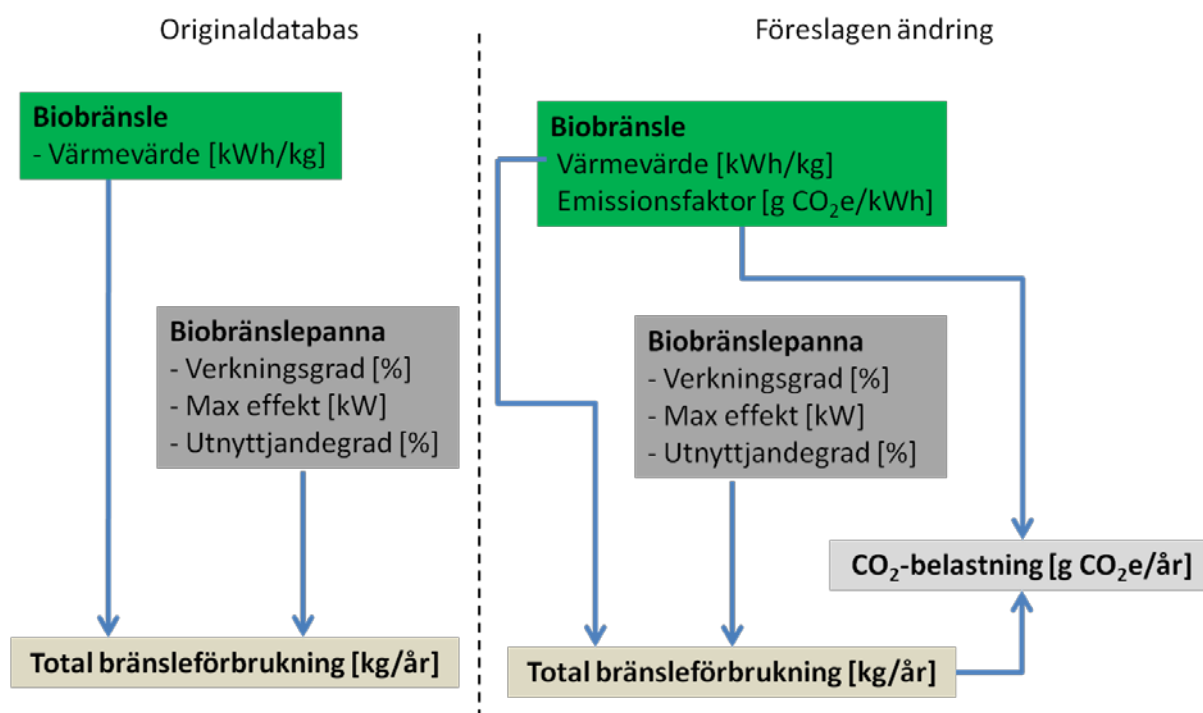
$t [\text{h}/\text{år}] = 8760$



## 6.4 Utsläppsfaktor för bibränslen

El- och värmeproduktion med biomassabaserade bränslen, både fasta och flytande, räknas idag som förnybara energikällor. Dessa är, till skillnad från fossila bränslen, befriade från koldioxidskatt, och kvalificerar sig dessutom för mottagande av elcertifikat. Biobränslen kan dock inte klassas som klimatneutrala ur ett helhetsperspektiv. Även om kretsloppet, där växten under sin livslängd binder in samma mängd koldioxid som senare släpps ut vid dess förbränning, inte antas bidra till en ökad koldioxidmängd i atmosfären, finns andra utsläppskällor. Framför allt går energi åt maskiner som framställer och transporterar råvaran och själva bränslet. Skogsmaskiner och lastbilar som skördar och transporterar biomassa drivs i de allra flesta fallen av fossila bränslen, vilka genererar växthusgasutsläpp. Även maskiner som förädlar bränslet (t.ex. sågverk eller pelletspressar) drivs av el, som inte heller kan anses vara helt klimatneutral (se avsnitt 2.4.1). Dessutom tillkommer transport av slutprodukten till pannan, oftast med dieseldriven lastbil. De fossila bränslen som ingår i produktions- och transportkedjan är i sin tur koldioxidbeskattade, vilket medför att biobränslen på så sätt beskattas indirekt.

I *Knowledge Base* är inte bränslekategorin kopplad till klimatpåverkanmodellen. Därför föreslås en ändring (Figur 16), där varje bränsle tilldelas en egen utsläppsfaktor. Baserat på resultaten från bränslets livscykelanalys, dess värmevärde och den totala årsförbrukningen, kan den slutliga klimatpåverkan från bränsleförbrukningen i hela området beräknas.



**Figur 16.** Schematisk bild av den föreslagna åtgärden. Biobränslet erhåller en emissionsfaktor, som tas med i beräkningen för den totala klimatbelastningen.

I Tabell 17 redovisas förslag på emissionsfaktorer för några av bränslen som implementerats i *Knowledge Base*.

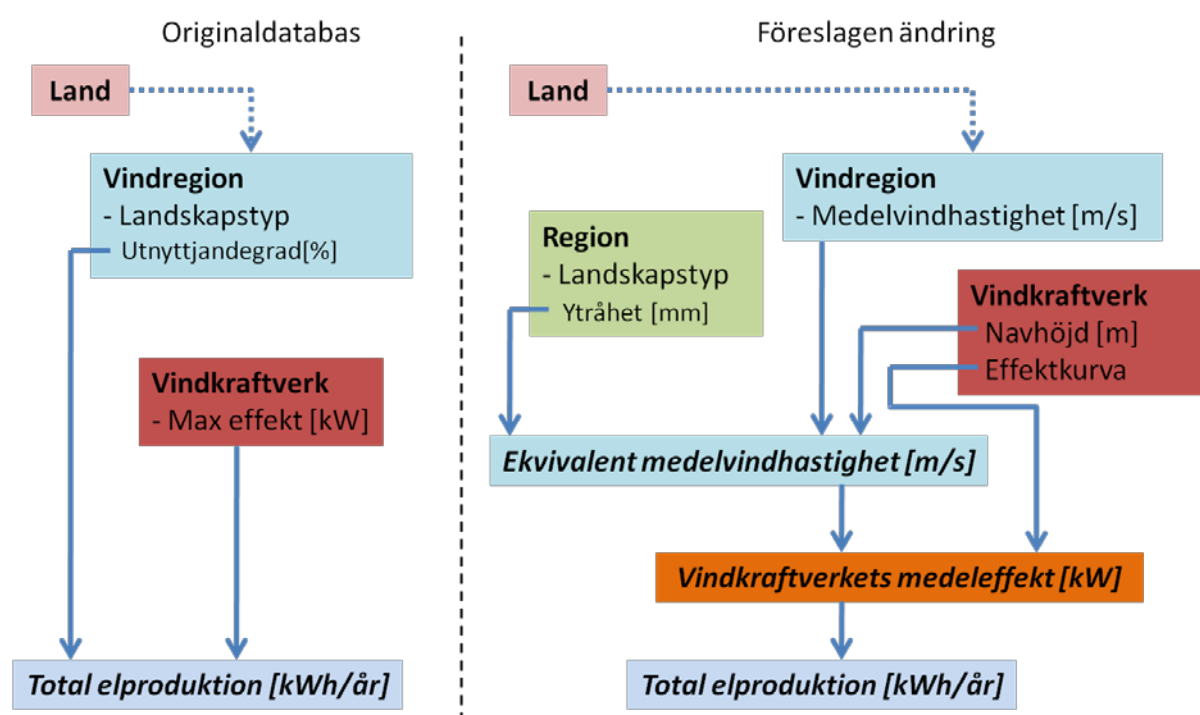
**Tabell 17.** Emissionsfaktorer för produktion och distribution av biobränslen. Värdena är hämtade från Gode et al. (2011).

Bränsletyp	Emissionsfaktor
	g CO <sub>2</sub> e/kWh bränsle
Träpellets	15
Flis	8,6
Träbriketter	15
GROT	6,9
Salix	34
Bark	5,0

## 6.5 Vindkraftens elproduktion

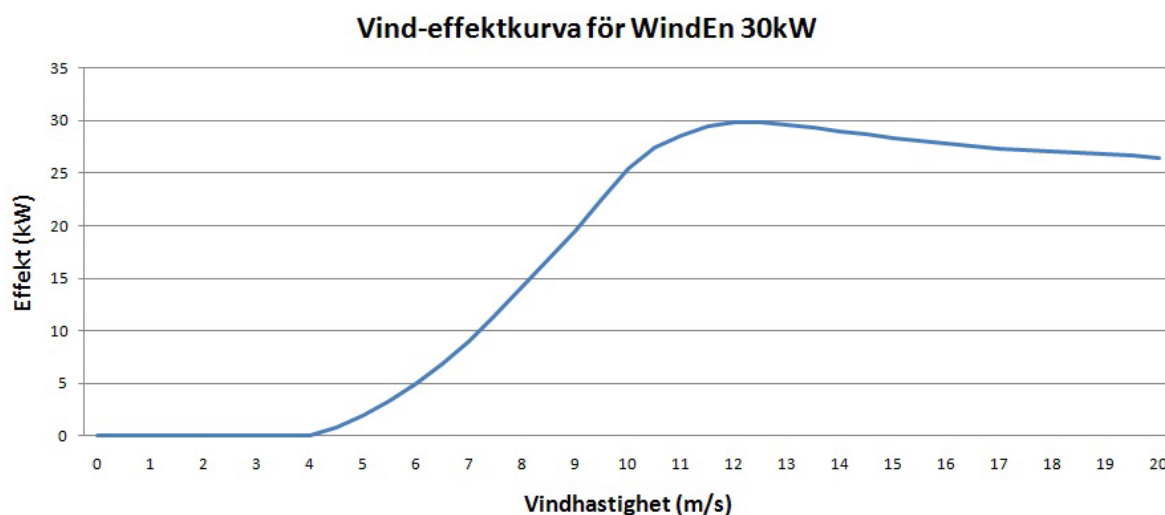
I *Knowledge Base* beräknas produktionen av el från vindkraft på ett förenklat sätt, som inte kan antas kunna användas för olika storlekar på vindkraftverk. Beroende på vilken landskapstyp (stad, förort, land) som verket placeras i, bestäms utnyttjandegraden. Vindkraftverk kan dock ha olika utnyttjandegrad, beroende på deras storlek, bladlängden och höjden som rotern placeras på. Det går därmed inte att ange en och samma utnyttjandegrad för samtliga typer.

Förslaget till förändringen av databasen (Figur 17) består i första hand av att en medelvindhastighet på en given höjd anges för regionen. Detta värde kan erhållas från en vindkartering eller mätningar utförda i området. Därefter bestäms den s.k. ytråheten, som är ett mått på ojämnheten i topografin i området. Tabeller med riktvärden för olika markanvändningstyper, som exempelvis skog, öppet fält, tätbebyggt område osv., finns bl.a. i Manwell, McGowan & Rogers (2009). När navhöjden på vindkraftverket anges, kan en ekvivalent medelvindhastighet på denna höjd beräknas med hjälp av ett enkelt logaritmiskt samband.



**Figur 17.** Schematisk bild av den föreslagna åtgärden. Medelvindhastigheten tillsammans med ytråheten för regionen tillåter en beräkning av den levererade elektriska energin, om egenskaperna för vindkraftverket är kända.

Tillverkare av vindkraftverk anger ofta en s.k. effektkurva, se Figur 18, vilken anger den elektriska effekten som verket levererar vid bestämda vindhastigheter. För den beräknade ekvivalenta medelvindhastigheten kan således en medeleffekt läsas av i diagrammet. Verket kan då antas leverera denna effekt under hela året, och behovet av att ange en utnyttjandegrad elimineras.



**Figur 18.** Exempel på effektkurva för en vindkraftsturbin.

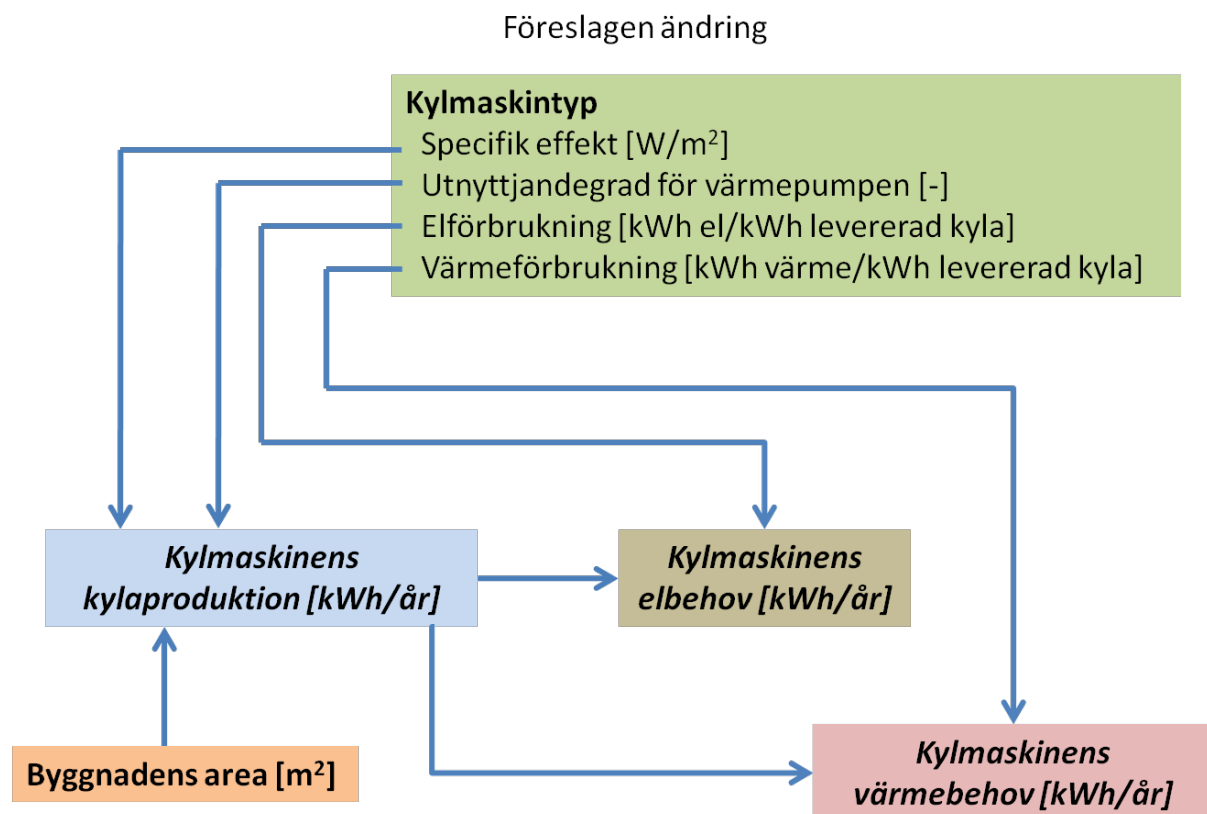
## 6.6 Kylproduktion

Med utvecklingen av tekniken för byggande av täta hus, utan köldbryggor och läckor, samt byggtrenden med stora glasfasader har kylbehovet blivit ett mer påtagligt problem än tidigare, särskild under sommarhalvåret. Det finns i många fall, t.ex. i nybyggda lokaler, inte heller någon möjlighet att använda sig av vädring genom fönstren. Strukturen i *Knowledge Base* förutsätter ingen möjlighet för kylförsörjning av byggnader i en *Masterplanning tool*-modell. En enkel förändring föreslås därför enligt Figur 19.

Strukturförändringens uppbyggnad är likartad den som angavs för värmepumpar i avsnitt 6.3. Varje typ av kylinstallation tilldelas en specifik effekt per  $\text{m}^2$  av den yta som anläggningen förväntas kyla. Utnyttjandegraden kan erhållas från tillverkarnas uppgifter samt utförda tester och verkliga driftfall.

För att kunna täcka in olika typer av kylmaskiner, både el- och värmedrivna<sup>9</sup>, samt frikyla, kan egenskaperna för anläggningen också innehålla förväntad el- respektive värmeförbrukning per kWh levererad kyla. Värden på dessa parametrar för frikyla, dvs. utnyttjande av t.ex. kall luft under natt- eller vintertid, kan då tänkas vara lika med noll.

El- och värmebehovet kan i slutsummeringen för den totala klimatpåverkan i modellen antas ge upphov till utsläpp av växthusgaser, enligt de emissionsfaktorer som tilldelats för respektive energibärare.



**Figur 19.** Föreslaget tillägg i databasstrukturen för hantering av en byggnads kylbehov.

<sup>9</sup> Exempel på värmedrivna kylprocesser är sorptionskyla och absorptionskyla

## 7 Förslag på vidare arbete

Verktyget *Masterplanning tool* strävar till att vara ett mer eller mindre komplett verktyg för klimatpåverkansbedömning av olika samhällsplaneringsprojekt. För att uppnå detta krävs dels en ständig utveckling av den bakomliggande databasen *Knowledge Base* och dels en uppdatering av strukturen i densamma.

I detta projekt har fokus legat på växthusgasutsläpp i samband med energiomvandling och olika energiinstallationer, vilka endast utgör en del av *Knowledge Base*. Viktiga aspekter av samhällsplanering som trafikmängder och avfallshantering måste också implementeras för att erhålla en uppfattning om klimatpåverkan för ett område. I Stockholmsregionen är trafikfrågor särskilt relevanta, då stora infrastruktursatsningar – Norra länken, Citybanan och Förbifart Stockholm för att nämna några – är i planeringsstadiet eller genomförs i dagsläget.

Även om klimatfrågor står högt på prioritetslistan hos de beslutande instanserna när det gäller översikts- och detaljplanering, väger ekonomiska förutsättningar i de allra flesta fall tyngst i genomförandefasen. Det krävs därmed en djupgående analys av värdet av varje sparad ton CO<sub>2</sub>e för att kunna dra verklighetskopplade slutsatser om investeringar i t.ex. en viss energiteknik, byggnadssätt eller trafiklösning.

## 8 Slutsatser

Utifrån tillvägagångssättet för projektets genomförande och de erhållna resultaten kan slutsatsen dras att klimatpåverkansbedömning av samhällsplaneringsprojekt är en komplicerad uppgift. Trots att kvantifiering av växthusgasemissioner är ett mätbart mål, påverkas resultaten främst av synsättet på dessa snarare än de faktiska utsläppsmängderna. I förhållande till nordisk medelvärd ger solcellsgenererad el exempelvis ingen väsentlig klimatbesparing, men däremot när nyttan ställs mot utsläppen från marginalet eller icke-ursprungsmärkt el.

I detta arbete har bedömning av klimatpåverkan för respektive energislag gjorts ur ett livscykelperspektiv, vilket är en grundförutsättning för en rättvis jämförelse. Det har även visat sig vara av hög vikt att tydligt definiera systemgränserna för projektet, och att hålla beräkningar och antaganden inom ramarna för dessa.

De resultat som kunnat presenteras tyder på klara fördelar med implementering av förnybara energikällor i Albano, främst för generering av värme. Detaljplaneförslaget, där värmeförsörjningen föreslås ske med värmepumpar och solfångare med grön el eller fjärrvärme som spets, erbjuder mer klimatvänliga alternativ till konventionell fjärrvärmeförsörjning. Om biobränslepannor installeras som huvudsaklig uppvärmningskälla, kan ytterligare besparingar uppnås.

Storskalig elproduktion i nära anslutning till området är inte möjligt p.g.a. dess läge och de yttre förutsättningarna. Det finns således få möjligheter att påverka dessa utsläpp i projektets planerings- och byggnadskedje. Däremot kan framtida fastighetsägare och inte minst hyresgästerna aktivt välja elavtal som medför en ökning av förnybar elproduktion och minskning av växthusgasutsläppen.

Fastän många osäkerheter finns i indatan, och trots att verktygsstrukturen lämnar utrymme för utveckling, kan resultaten ge en uppskattning av de sammanlagda växthusgasemissionerna för ett område. I efterhand kan detaljnivån förfinas och resultaten uppdateras. Myndigheter, organisationer och andra aktörer på marknaden eftertraktar ett övergripande synsätt på klimatpåverkansbedömning i de olika faserna av samhällsplanering. Detta behov kan till en stor del tillgodoses med *Masterplanning tool*, som dessutom kan användas under hela planprocessen, från de tidiga idéskisserna till utformning av detaljplaner. Varje projekt är dock unikt till sin natur, och en viss anpassning av verktyget måste alltid ske i samråd med beställarsidan.

Även om klimatpåverkan är en alltmer prioriterad fråga i bygg-, energi- och infrastrukturbranscherna, baseras de flesta besluten på de ekonomiska förutsättningarna. För att kunna använda *Masterplanning tool* i processer som rör politiska och ekonomiska beslut, måste även denna sida utvecklas inom eller i tät anslutning till verktyget.

## Referenslista

- Allen S.R., Hammond G.P. & McManus, M.C. (2008). Energy analysis and environmental life cycle assessment of a micro-wind turbine. *Journal of Power and Energy* [Elektronisk], vol. 222, ss. 669-684. Tillgänglig: <http://pia.sagepub.com/content/222/7/669> [2013-02-03]
- BBR 19 (2011). Karlskrona. (BFS 2011:26)
- Bergström, H. (2007). Vindpotentialen i Sverige på 1 km-skala [Elektronisk]. Uppsala: Uppsala universitet. Tillgänglig: <http://energimyndigheten.se/Global/Om%20oss/Vindkraft/Vindpotentialen.PDF> (2013-01-07).
- DECC (2012). *The Future of Heating: A strategic framework for low carbon heat in the UK* [Elektronisk]. London: Department of Energy and Climate Change. Tillgänglig: [https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/48574/4805-future-heating-strategic-framework.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/48574/4805-future-heating-strategic-framework.pdf) (2013-01-22).
- DECC (2013a). *Fuel Mix Disclosure data tables*. [http://www.decc.gov.uk/en/content/cms/statistics/energy\\_stats/fuel\\_mix/fuel\\_mix.aspx](http://www.decc.gov.uk/en/content/cms/statistics/energy_stats/fuel_mix/fuel_mix.aspx) [2013-01-22]
- Eales, D. (2010). *Victorian Urban Wind Resource Assessment (2010 Revision)* [Elektronisk]. Victoria: Alternative Technology Association and Sustainability Victoria. Tillgänglig: [http://www.sustainability.vic.gov.au/resources/documents/Victorian\\_Urban\\_Wind\\_Resource\\_Assessment\\_\(2010\\_Revision\).pdf](http://www.sustainability.vic.gov.au/resources/documents/Victorian_Urban_Wind_Resource_Assessment_(2010_Revision).pdf) (2013-01-07).
- Ecoinvent Centre (2010). Ecoinvent data v2.2 [Elektronisk databas]. Tillgänglig: [www.ecoinvent.ch](http://www.ecoinvent.ch) (2013-01-17)
- Energimarknadsinspektionen (2011). *Ursprungsmärkning av el*. Eskilstuna: Energimarknadsinspektionen (EI R2011:10).
- Energimyndigheten (2007a). *Energianvändning & innemiljö i skolor och förskolor*. Eskilstuna: Statens energimyndighet (ER 2007:11).
- Energimyndigheten (2007b). *Förbättrad energistatistik för lokaler*. Eskilstuna: Statens energimyndighet (ER 2007:34).
- Energimyndigheten (2008). *Energianvändning i vårdlokaler*. Eskilstuna: Statens energimyndighet (ER 2008:09).
- Energimyndigheten (2009a). *Energianvändning i idrottsanläggningar*. Eskilstuna: Statens energimyndighet (ER 2009:10).
- Energimyndigheten (2009b). *Heta värmepumpar* [Elektronisk]. Eskilstuna: Statens energimyndighet (ET 2009:23). Tillgänglig: [http://energimyndigheten.se/Global/Press/lyckade%20insatser/Heta\\_Pumpar\\_webb.pdf](http://energimyndigheten.se/Global/Press/lyckade%20insatser/Heta_Pumpar_webb.pdf) (2013-01-30).
- Energimyndigheten (2010). *Energianvändning i handelslokaler*. Eskilstuna: Statens energimyndighet (ER 2010:17).
- Energimyndigheten (2011a). *Energianvändning i hotell, restauranger och samlingslokaler*. Eskilstuna: Statens energimyndighet (ER 2011:11).
- Energimyndigheten (2011b). *Energiläget 2011*. Eskilstuna: Statens energimyndighet (ET 2011:42).
- Energimyndigheten (2012a). *Energistatistik för småhus, flerbostadshus och lokaler 2011*. Eskilstuna: Statens energimyndighet (ES 2012:07).



- Energimyndigheten (2012b). *Energistatistik för småhus 2011*. Eskilstuna: Statens energimyndighet (ES 2012:04).
- Energimyndigheten (2012c). *Energistatistik för flerbostadshus 2011*. Eskilstuna: Statens energimyndighet (ES 2012:05).
- Energimyndigheten (2012d). *Energistatistik för lokaler 2011*. Eskilstuna: Statens energimyndighet (ES 2012:06).
- Energimyndigheten (2013). *Testresultat*.  
<http://energimyndigheten.se/sv/Hushall/Testerresultat/Testresultat/> [2013-01-10]
- Eneroth, S. (2013). *Personlig kommunikation om energiförbrukning i universitetslokaler, 2013-01-03*.
- Fahlberg, K. & Johansson, S. (2009). *Emission factors* [Elektronisk]. Stockholm: KTH. Tillgänglig: [http://www.ima.kth.se/klimatswe/dokument/Emission\\_factors\\_20091112.pdf](http://www.ima.kth.se/klimatswe/dokument/Emission_factors_20091112.pdf) [2013-01-22]
- Gode, J. et.al (2009). *Miljövärdering av el ur systemperspektiv* [Elektronisk]. Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet (Rapport B1882). Tillgänglig: <http://www.ivl.se/webdav/files/B-rapporter/B1882.pdf> (2013-03-05)
- Gode, J. et.al (2011). *Miljöfaktaboken 2011*. Stockholm: Värmeforsk (Rapport 1183).
- JRC (2012). *PV potential estimation utility*. Online-verktyg. Tillgänglig: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php> (2012-12-14)
- Manwell, J.F., McGowan, J.G. & Rogers, A.L. (2009). *Wind Energy Explained*. 2 ed. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- Nordpool (2013). *History*. <http://www.nordpoolspot.com/About-us/History/> [2013-01-22]
- SGBC (2012). *Miljöcertifiering*. <http://sgbc.se/certifieringssystem> [2012-12-18]
- SLL (2008). *Energiförsörjningen i Stockholmsregionen*. Stockholm: Stockholms läns landsting. (Regionplane- och trafikkontoret, Rapport 12:2008).
- Stockholms stad (2013). *Bygg- och plantjänsten*.  
<http://insynsbk.stockholm.se/Byggochplantjansten/Pagaende-planarbete/PagaendePlanarbete/Planarende/?JournalNumber=2008-21530> [2013-01-24]
- Strömberg, B. & Herstad Svärd, S. (2012). *Bränslehandboken 2012*. Stockholm: Värmeforsk (Rapport 1234).
- SP (2013). *Förteckning över solfångare på svenska marknaden certifierade med Solar Keymark samt beräknade årliga energiutbyten*. [Elektronisk]. Tillgänglig: [http://www.sp.se/sv/units/energy/Documents/ETk/Forteckning\\_P-markta\\_och\\_ovriga\\_solfangare.pdf](http://www.sp.se/sv/units/energy/Documents/ETk/Forteckning_P-markta_och_ovriga_solfangare.pdf) (2014-04-28)
- Svensk energi (2011). *Vägledning angående ursprungsmärkning av el* [Elektronisk]. Tillgänglig: [http://www.svenskenergi.se/upload/Vi%20arbetar%20med/Handel&Forsaljning/Filer/Ursprungsmarkning/Vagl%20ursprungsmarkning%20%202011\\_0829\\_inkl%20bilagor.pdf](http://www.svenskenergi.se/upload/Vi%20arbetar%20med/Handel&Forsaljning/Filer/Ursprungsmarkning/Vagl%20ursprungsmarkning%20%202011_0829_inkl%20bilagor.pdf) (2012-10-02)
- Svensk energi (2013). *Vindkraft - en viktig del av framtidens kraftsystem*.  
<http://www.svenskenergi.se/sv/Vi-arbetar-med/Elproduktion/Vindkraft/> [2013-01-07]
- Svensk fjärrvärme, 2011. *Lokala miljövärden 2010*. Excel-kalkylblad. Tillgänglig: <http://www.svenskfjarrvarme.se/Global/Miljo/2011/Lokala%20Milj%c3%b6v%c3%a4rden%202011.xls> (2012-12-13)

Svenska trädbränsleföreningen (2013). *Miljön i fokus*. [http://www.tradbransle.se/fakta\\_miljo\\_1.asp](http://www.tradbransle.se/fakta_miljo_1.asp)  
[2013-01-08]

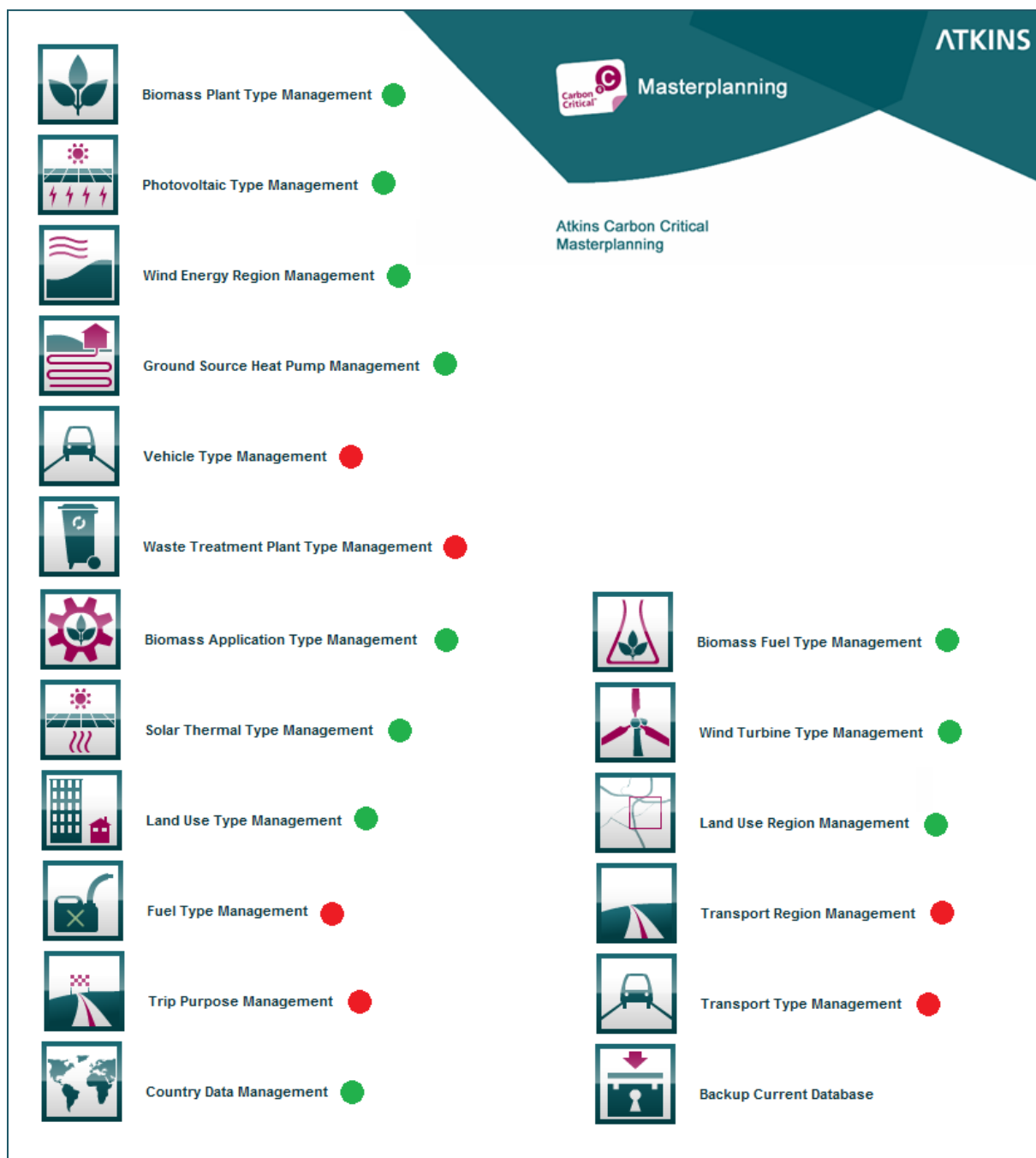
Zimmermann, J.P. (2009). *End-use metering campaign in 400 households in Sweden* [Elektronisk].  
Eskilstuna: Statens energimyndighet.

Tillgänglig: [http://www.enertech.fr/pdf/54/consommations%20usages%20electrodomestiques%20en%20Suede\\_2009.pdf](http://www.enertech.fr/pdf/54/consommations%20usages%20electrodomestiques%20en%20Suede_2009.pdf) (2013-01-04)

# Bilaga I

## Parameterkategorier i Knowledge Base

De kategorier som omfattats av projektet är markerade med grönt, medan de som legat utanför avgränsningarna är markerade med rött.



# Bilaga II

## Energiprestanda för byggnadstyper

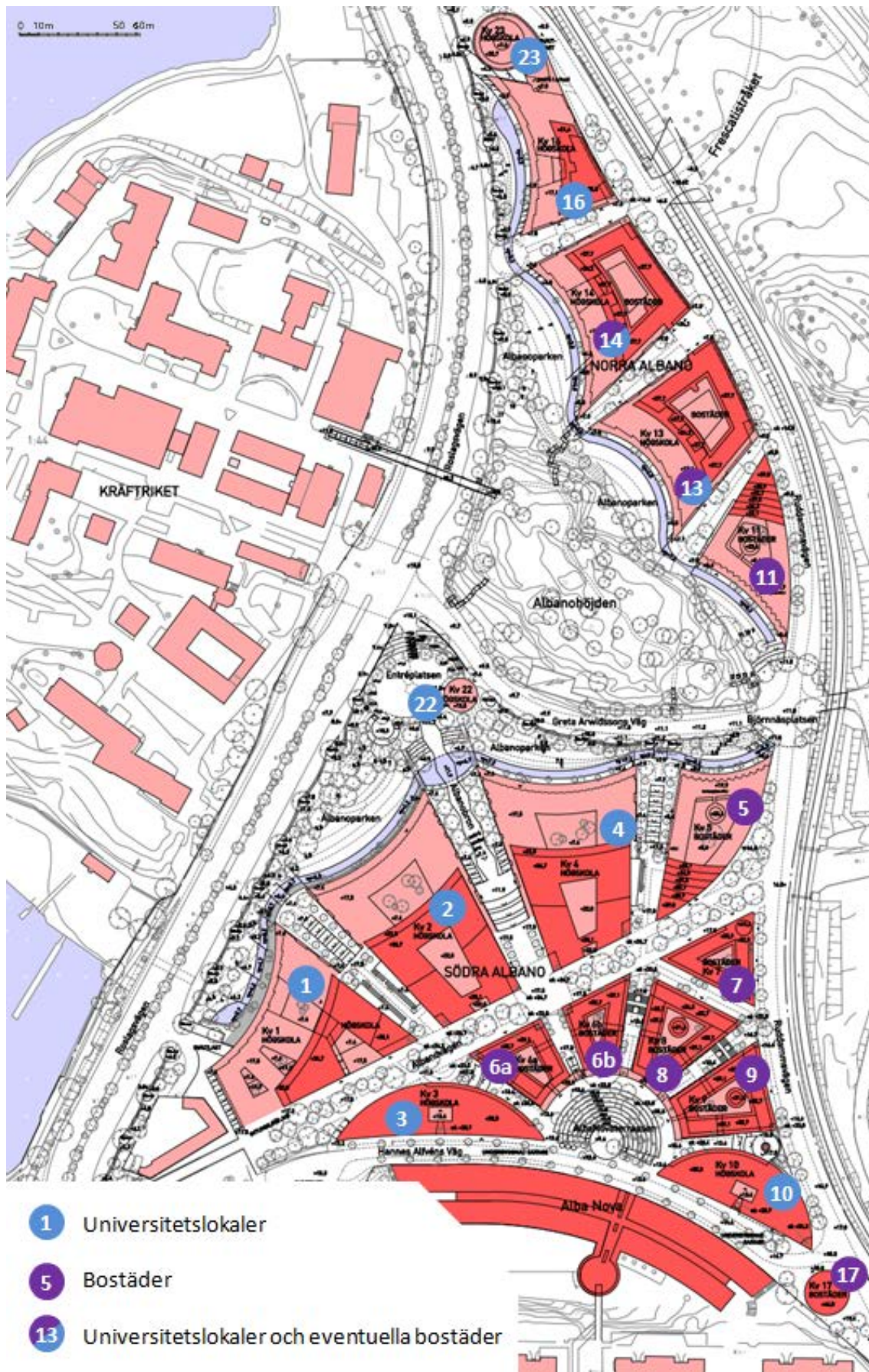
Land Use Type Name	General Properties			Electrical Energy Consumption (kWh/m <sup>2</sup> /yr)		Thermal Energy Consumption (kWh/m <sup>2</sup> /yr)				References	
	Category	Average Indication	Default Urban Form Type	All building standards	Average (Statistics)	Minimum (BBB19)	Miljöbyggnad SILVER	Miljöbyggnad GULD	BREEM Building EXCELLENT	BREEM Outstanding	References
<b>SE - Residential</b>											
SE - Residential - One- and Two-dwelling Building	Residential	30	Suburban	81	131	90	68	59	-	-	ES 2012.04 "Energy statistics for one- and two-dwelling buildings in 2011" and ES 2012.05 "Energy statistics for multi-dwelling buildings in 2011" and Zimmer
SE - Residential - Multi-dwelling Building	Residential	Horizontal	Urban	59	157	90	68	59	-	-	
<b>SE - Retail</b>											
SE - Retail - Food Store	Retail	Horizontal	Urban	322	77	80	60	52	60	68	ER 2010.17 "Energyanvändning i handelslokaler"
SE - Retail - Gallery (W/o food store)	Retail	Horizontal	Urban	149	113	80	60	52	60	68	ER 2010.17 "Energyanvändning i handelslokaler"
SE - Retail - General Retail	Retail	Horizontal	Urban	115	68	80	60	52	60	68	ER 2010.17 "Energyanvändning i handelslokaler"
<b>SE - Sports and Leisure</b>											
SE - Sports and Leisure - Sports Hall	Retail	Horizontal	Urban	75	75	-	-	-	-	-	ER 2009.10 "Energyanvändning i idrottsanläggningar"
SE - Sports and Leisure - Ice Rink	Retail	Horizontal	Urban	205	59	-	-	-	-	-	ER 2009.10 "Energyanvändning i idrottsanläggningar"
SE - Sports and Leisure - Swimming Pool	Retail	Horizontal	Urban	164	239	-	-	-	-	-	ER 2009.10 "Energyanvändning i idrottsanläggningar"
SE - Sports and Leisure - Combined Facility	Retail	Horizontal	Urban	172	183	-	-	-	-	-	ER 2009.10 "Energyanvändning i idrottsanläggningar"
SE - Sports and Leisure - Football/Athletics Ground, heated	Retail	Horizontal	Urban	18	91	-	-	-	-	-	ER 2009.10 "Energyanvändning i idrottsanläggningar" and area assumptions
SE - Sports and Leisure - Football/Athletics Ground, non-heated	Retail	Horizontal	Urban	5	0	-	-	-	-	-	ER 2009.10 "Energyanvändning i idrottsanläggningar" and area assumptions
SE - Sports and Leisure - Heated Outdoor Pool	Retail	Horizontal	Urban	43	143	-	-	-	-	-	ER 2009.10 "Energyanvändning i idrottsanläggningar" and area assumptions
SE - Sports and Leisure - Golf Course	Other	Horizontal	Rural	0.4	0	-	-	-	-	-	ER 2009.10 "Energyanvändning i idrottsanläggningar" and area assumptions
SE - Sports and Leisure - Riding Hall and Stable	Other	Horizontal	Rural	40	0	-	-	-	-	-	ER 2009.10 "Energyanvändning i idrottsanläggningar"
SE - Sports and Leisure - Bowling Alley	Retail	Horizontal	Urban	75	0	-	-	-	-	-	ER 2009.10 "Energyanvändning i idrottsanläggningar" and area assumptions
<b>SE - Education</b>											
SE - Education - Kindergarten/Preschool	Other	Horizontal	Urban	131	98	80	60	52	60	-	ER 2007.11 "Energyanvändning & inomhusmiljö i skolor och förskolor"
SE - Education - Primary/Secondary School	Other	Horizontal	Urban	73	140	80	60	52	60	-	ER 2007.11 "Energyanvändning & inomhusmiljö i skolor och förskolor"
SE - Education - University/Higher Education	Other	Horizontal	Urban	142	135	80	60	52	60	-	Uppsala campus data
<b>SE - Health Care</b>											
SE - Health Care - Hospital	Other	Horizontal	Urban	96	126	-	-	-	-	-	ER 2008.09 "Energyanvändning i vårdlokaler"
SE - Health Care - Clinic/Health Centre	Other	Horizontal	Urban	71	167	-	-	-	-	-	ER 2008.09 "Energyanvändning i vårdlokaler"
SE - Health Care - Nursing Home	Other	Horizontal	Urban	66	125	-	-	-	-	-	ER 2008.09 "Energyanvändning i vårdlokaler"
SE - Health Care - Residential Treatment Centre	Other	Horizontal	Urban	82	130	-	-	-	-	-	ER 2008.09 "Energyanvändning i vårdlokaler"
<b>SE - Recreation</b>											
SE - Recreation - Hotel	Retail	Horizontal	Urban	162	87	80	60	52	60	-	ER 2011.11 "Energyanvändning i hotell, restauranger och samlingslokaler"
SE - Recreation - Restaurant/Café/Bar	Retail	Horizontal	Urban	424	159	-	-	-	-	-	ER 2011.11 "Energyanvändning i hotell, restauranger och samlingslokaler"
SE - Recreation - Public Hall	Other	Horizontal	Urban	424	86	80	60	52	60	-	ER 2011.11 "Energyanvändning i hotell, restauranger och samlingslokaler"
SE - Recreation - Church/Chapel	Other	Horizontal	Urban	424	104	80	60	52	60	-	ER 2011.11 "Energyanvändning i hotell, restauranger och samlingslokaler"
<b>SE - Commercial and Industrial</b>											
SE - Commercial and Industrial - Office	Business	Horizontal	Urban	94	103	80	60	52	60	68	ER 2007.34 "Förbättrad energistatistik för lokaler"
<b>SE - Misc</b>											
SE - Utility	Other	Horizontal	Urban	-	-	-	-	-	-	-	-
SE - Agricultural Field	Other	Horizontal	Rural	-	-	-	-	-	-	-	-
SE - Public Transport Terminal	Other	Horizontal	Urban	(-)	(-)	-	-	-	-	-	(-)
SE - Cemetery	Other	Horizontal	Suburban	(-)	(-)	-	-	-	-	-	(-)
SE - Multi-storey Car Park, heated	Other	Horizontal	Urban	119	126	-	-	-	-	-	ES 2012.06 "Energy statistics for non-residential premises 2011"
SE - Multi-storey Car Park, non-Heated	Other	Horizontal	Urban	18	0	-	-	-	-	-	Assumptions for lighting needs
SE - Open Space Rural	Other	Horizontal	Rural	-	-	-	-	-	-	-	-
SE - Open Space Suburban	Other	Horizontal	Suburban	-	-	-	-	-	-	-	-
SE - Open Space Urban	Other	Horizontal	Urban	-	-	-	-	-	-	-	-
SE - Park or other green area	Other	Horizontal	Rural	-	-	-	-	-	-	-	-
SE - Storage Building	Other	Horizontal	Suburban	-	-	-	-	-	-	-	-



## Bilaga III

### Detaljplan för Albanoområdet

Siffran i figuren anger kvartersnumret.



SLU  
Institutionen för energi och teknik  
Box 7032  
750 07 UPPSALA  
Tel. 018-67 10 00  
pdf.fil: [www.slu.se/energioghteknik](http://www.slu.se/energioghteknik)

SLU  
Department of Energy and Technology  
P. O. Box 7032  
SE-750 07 UPPSALA  
SWEDEN  
Phone +46 18 671000